

جامعة مؤتة
عمادة الدراسات العليا

حفر الإذابة جنوب وشرق البحر الميت

إعداد الطالب
خلدون صبري الوحوش

إشراف
الاستاذ الدكتور إبراهيم العرود

رسالة مقدمة إلى عمادة الدراسات العليا
استكمالا لمتطلبات الحصول على درجة
الماجستير في الجغرافيا قسم الجغرافيا

جامعة مؤتة، 2005

الاهداء

الي روح والدي العزيز

الذي كان يؤمن بأن اللغة العربية، لغةً علمية حضارية عالمية.

خلدون صبري الوحوش

الشكر والتقدير

عظيم الشكر والامتنان،لكل من الاستاذ الدكتور ابراهيم العرود،قسم الجغرافيا/جامعة مؤتة، والاستاذ الدكتور نجيب ابو كركي رئيس قسم الجيولوجيا البيئية والتطبيقية/الجامعة الأردنية، والدكتورDamien Closson من مركز ليج لدراسات الفضاء التابع لجامعة ليج في بلجيكا، على ما قدموه لي من التوجيه والارشاد والملاحظات القيمة التي ساعدت بطريقة أو أخرى في إتمام كتابة هذه الرسالة. فلهم من الشكر أجزله.داعياً الله أن يرعاهما لخدمة العلم والباحثين والدارسين،كما هو ديدينهم دائماً.

كما اتقدم بالشكر والتقدير للاساتذه الفاضلين لجنة المناقشة:

1. الاستاذ الدكتور صالح الكساسبة.
2. الدكتور محمد القرالة.

بتفضلهم بقراءة ومناقشة الرسالة والملاحظات القيمة التي قدموها.

خلدون صبري الوحوش

فهرس المحتويات

قائمة الأشكال

قائمة الجداول

الملخص

حفر الاذابة جنوب وشرق البحر الميت

خلدون صبري الوحوش

جامعة مؤتة 2005

تظهر في مناطق شرق وجنوب البحر الميت وكذلك الى الغرب منه تشققات وحفر إذابة، وخاصة في غور حديثة والى الشمال منه، بالإضافة إلى منطقة شبة جزيرة اللسان فيما يخص الاراضي الاردنية. وأصبحت تلك التشققات والحفر تشكل خطراً على قاطني تلك المناطق وممتلكاتهم. علاوة على ما قد سببته وتسببه من خطر على المنشآت الصناعية والتعدينية والسياحية وقطاع النقل والزراعة في تلك المناطق. لذلك هدفت الدراسة الحالية الى التعرف على أسباب وآليات تطور تلك الحفر، وتحديد الأخطار البيئية والاقتصادية الناتجة عنها، ودراسة العوامل التي من شأنها أن تؤثر على تطورها. وذلك من خلال الدراسة الميدانية المكثفة، والاستعانة بالخرائط

الطبوغرافية والجيولوجية والتركيبيه والصور الفضائية، واستخدام نظام GPS في تحديد مواقع وإنتشار تلك الحفر.

وقد تبين من هذه الدراسة أن الهبوط المستمر للبحر الميت وما رافقه من وصول مياه تحت مشبعه بالنسبة للترسبات تحت السطحية هي المسؤولة عن عمليات الاذابة للصخور القابلة للذوبان، وتكوين الفراغات والتجاويف التي ما تلبث ان تتطور الى حفر إذابة. وقد كشفت الدراسة ايضاً عن عدة أسباب لنشوء تلك الحفر. وقد تم التمييز بين آليتين لتشكل تلك الحفر وهما:آلية الهبوط التدريجي المتزامن مع عمليات الإذابة، وآلية الانهيار المفاجيء غير المتزامن مع عمليات الإذابة. كما بينت الدراسة أن قناة البحرين المنوي إقامتها، التي تربط بين البحر الاحمر والبحر الميت أثر إيجابي في الحد من تكون تلك الحفر وتطورها.

ABSTRACT

SINKHOLES: SOUTH AND EAST OF THE DEAD SEA

KHALDOON. S. EL-WHOOSH

MU'TAH UNVITSITY, 2005

Sinkholes and cracks in Ghor Al-Haditha and Lisan peninsula have been studied. These cracks and sinkholes are a natural hazard which pose a danger that threatens the inhabitants and their properties, along with the damage they could cause to the industrial, mining, touristic facilities, transport and agriculture sectors in that area. Additionally, the sudden appearance of deep sinkholes have been causing panic among farmers cultivating the area.

Therefore, this study aims at investigating the possible cause and mechanisms responsible for the development of these sinkholes. Intensive field study assisted by satellite images, topographic, geological and structural maps have been used. Additionally, GPS was used to identify

the exact location of the various sinkholes in order to establish the spatial patterns and density of these sinkholes.

This study shows that the steady decline of the level of the Dead Sea along with subsurface flow are identified as the main cause for the appearance of these sinkholes. The use of excessive irrigation water and broken water pipes is believed to enhance the development of the sinkholes in the agricultural plots.

The lowering of the Dead Sea level depletes the lacustrine sediments of their water content and the subsequent infiltration of fresh water or running water beneath the surface aid in dissolving the salt layers and causing the voids and cavities to develop into sinkholes. Two stages were identified in the development of sinkholes, first, a gradual subsidence associated with the dissolution processes, and then an abrupt collapse following the dissolution processes. The study shows that the Red Sea-Dead Sea canal proposed to connect the two water bodies will have a positive effects on minimizing the emergence and development of these sinkholes.

الفصل الأول
خلفية الدراسة وأهميتها

1.1 المقدمة:

يعد البحر الميت ظاهرة طبيعية فريدة على مستوى العالم إذ انه يعتبر اخفض منطقة على كوكب الأرض. حيث أن مستوى مياهه حالياً 418 م تحت مستوى سطح البحار الأخرى ويتميز بارتفاع كمية المواد المذابة فيه، حيث يبلغ معدل ملوحة مياهه حوالي 326غم/ لتر، وتبلغ كثافة مياهه1.2104. علماً بأن متوسط ملوحة مياه البحار والمحيطات بحدود 35 غم / لتر. أما مناخه حار وجاف جداً ويصنف حسب تقسيم كوبن (Bwh). إذ يبلغ معدل سقوط الأمطار 80 ملم / السنة ومعدل درجة الحرارة السنوي تزيد على 25م, أما منطقة الرفد المائي فتبلغ تقريباً 40,000 كم (Neev and Emery, 1967).

بلغت كمية المياه التي كانت ترد من نهر الأردن قبل تحويل روافده العليا من قبل إسرائيل حوالي 1600 مليون مترمكعب/السنة، وبعد التحويل تناقصت بصورة كبيرة جداً. حيث عملت إسرائيل في أواخر الخمسينيات على بناء مشروع لضخ أكثر من 500 مليون م^3 / السنة من مياه نهر الأردن إلى فلسطين المحتلة والذي أنجز بحلول عام 1964(عابد،1985).

وهناك بعض المشاريع الثانوية التي قللت من وصول المياه العذبة إلى البحر الميت مثل إقامة السدود على بعض الأنهار والأودية شرق البحر الميت ووادي الأردن مثل قناة الغور الشرقية وسد الملك طلال وسد الكفرين وسد زقلاب وسد وادي العرب. وعلى الأودية الصغيرة التي تصب مباشرة في البحر الميت مثل وادي الموجب ووادي ابن حماد والكرك والحسا ووادي فينان. يضاف إلى ذلك انه يضخ 200 مليون م3 سنويا (Oroud , 2001) من مياه البحر الميت لاستخدامها من قبل شركة البوتاس العربية، هذا فضلاً عن الكمية الأخرى من المياه التي تستخدم للمصانع الأخرى ، كمصنع البرومين الأردني ومصنع البوتاس في فلسطين المحتلة. ولوجوده في بيئة حارة جداً صيفاً فإن كمية التبخر من البحر الميت تقارب 1100- 1300 ملم سنوياً

(Oroud,2001a). وقبل إقامة المشاريع المائية على روافد البحر الميت وتحويل جزءً من تلك المياه إلى دولة إسرائيل، فان مستوى سطح البحر الميت بقي ثابتاً تقريباً ويتذبذب قليلا تبعا لكمية الأمطار السنوية الهاطلة. وقد كان مستوى سطح البحر الميت قبل إقامة تلك المشاريع بحدود 390 متراً تحت مستوى سطح البحار الأخرى، حيث كانت كمية المياه الواردة إلية مساوية تقريباً لكمية التبخر من سطحه. غير انه ونتيجة للعوامل السابقة اخذ شاطئ البحر الميت بالانحسار والتراجع بمقدار 20-30 م سنوياً (Oroud, 2001b)، وبمعدل تناقص مستوى مياهه 60-70 سم / السنة (Oroud, 2001b)، وهذا يعود إلى أن المياه التي يفقدها البحر الميت الآن، أصبحت أكبر بكثير من المياه الرافده له.

والدليل على ذلك التراجع أن مستوى سطح مياه البحر الميت كانت بحدود -395 وطوله 80 كم ومعدل عرضة 17 كم ومساحته 1000 كم^2 قبل إقامة المشاريع الصهيونية. وفي عام 1982 أصبحت مساحته 800 كم^2 ومستوى سطحه 400م تحت سطح البحار الأخرى وقد جف حوضه الجنوبي قبل عشرين سنة تقريباً (عابد، 1985). وفي الوقت الراهن فإن مساحة البحر الميت بحدود 660 كم^2 فقط ومستواه بحدود 418م تحت مستوى سطح البحار الأخرى.

وقد ترتب على انخفاض مستوى مياه البحر الميت الكثير من النتائج من أهمها ظهور التشققات* (Cracks) وحفر الإذابة** (Sinkholes) وهبوط الأراضي وهشاشتها للمناطق المحاذية لشواطئ البحر الميت الآن. كما أدى ذلك إلى انخفاض مستوى

---

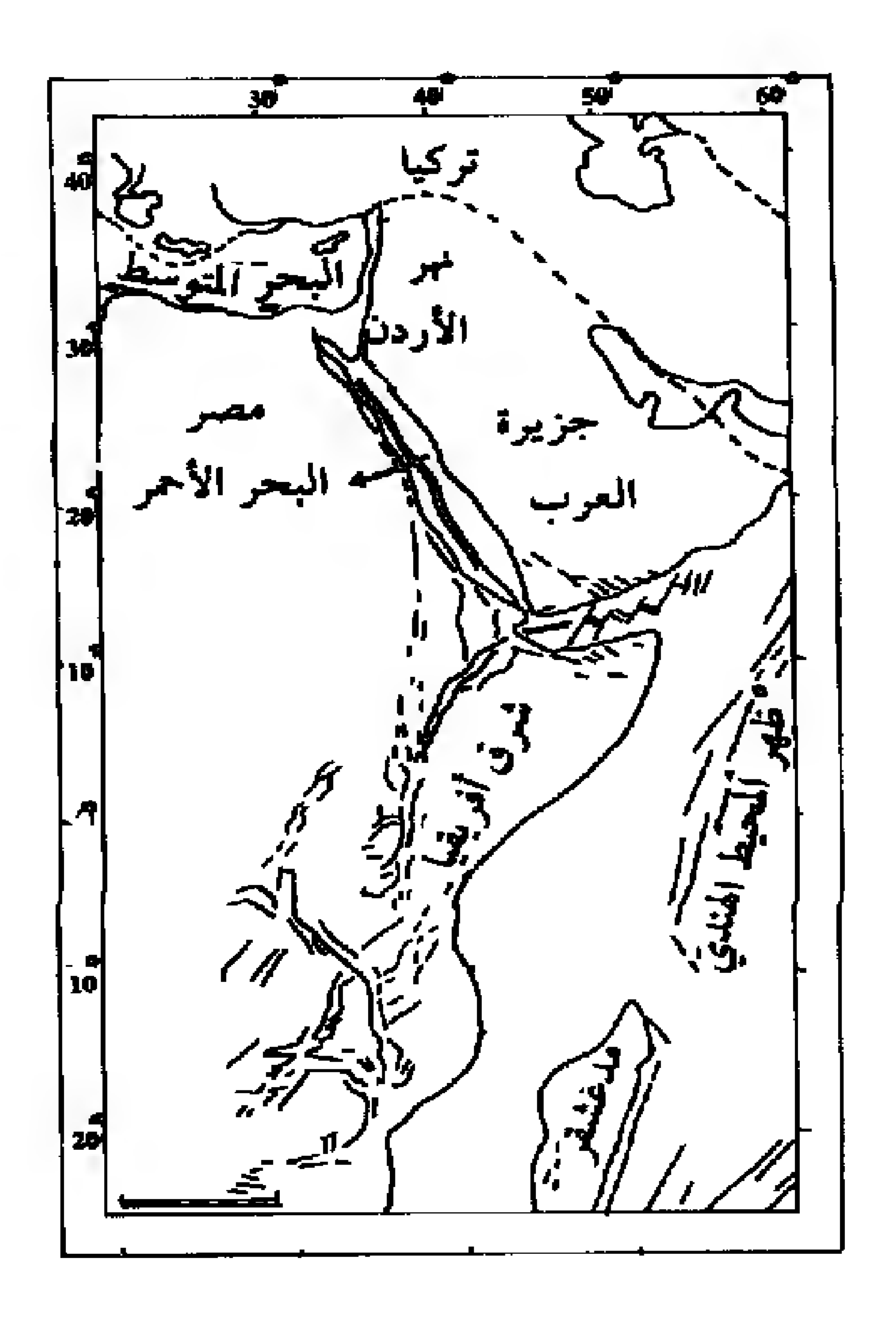
* التشققات(Cracks): تتكون الشقوق نتيجة لقوى الضغط والشد التي يتعرض لها الصخر. وتعتبر الشقوق من أهم مراكز الضعف الجيولوجي في الصخر، حيث تساعد فتحاتها على تغلغل المياه الى داخل الصخر وبالتالي حدوث عملية الإذابة، ولذلك نلاحظ دائما استمرار توسع فتحات الشقوق.

** حفرة الإذابة(Sinkholes): عبارة عن انخفاض ارضي، يحدث ببطء او ينهار فجأة، وشكل الحفرة قد يكون منتظم او غير منتظم، وقد تأخذ شكل محقان(Funnel shape) ويحيط هذا الانخفاض حواف حائطية شديدة الانحدار، وتختلف أيضا فيما بينها من حيث أبعاد الحفرة (الطول، العرض، الحجم، العمق). وتحدث هذه الحفر لأسباب عديدة، ويكون لها تأثيرات بيئية واقتصادية لا يمكن إهمالها. وتسمى حفر الإذابة بعدة أسماء أجنبية منها Sinkhole أو Doline . وهناك العديد من الأسماء العربية تختلف من منطقة إلى أخرى في البلاد العربية، ففي الأردن يطلق عليها جوره، وفي المغرب العربي يطلق عليها جوبة أو وضاية وفي ليبيا هوة، وفي السعودية دارة، ام المختصون في علوم الارض أو الجغرافيون فيطلقون عليها حفر إذابة أو حفر كارستية أو الحفر البالوعية أو الحفر الانهدامية إلى غير ذلك من التسميات. ويعتقد الباحث أن انسب التسميات هي حفر الإذابة وذلك لان معظم أنواع الحفر الطبيعية تنتج بسبب عمليات الإذابة وان كان هناك اختلاف في آلية التكون للحفرة .

المياه الجوفية في المناطق القريبة منه، مما سبب خسائر مادية كبيرة لبعض المنشآت السياحية والصناعية والأراضي الزراعية والسكان وممتلكاتهم في تلك المناطق. وأصبحت خطراً طبيعياً يهدد قاطني تلك المناطق.

2.1 موقع الدراسة:

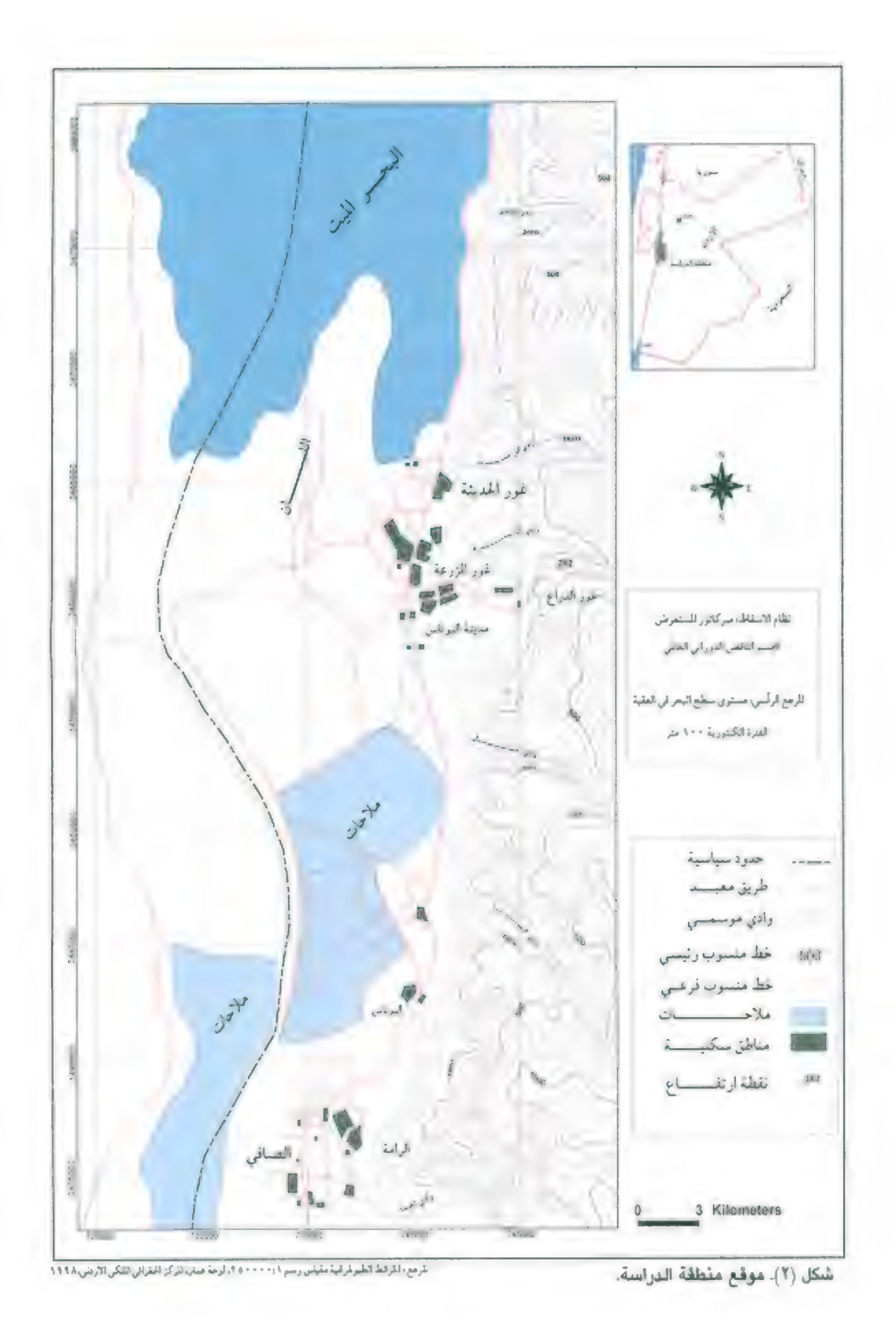
تعتبر منطقة الدراسة جزءاً من حفرة الانهدام الإفريقي شكل (1)، والذي يمتد من انهدام شرق إفريقيا مروراً بخليج عدن فالبحر الأحمر حتى ينتهي في جنوب تركيا وبطول يبلغ حوالي 6000 كم (Neev and Emery, 1967). ويشكل الجزء الذي يعرف بالانهدام الأردني (Jordan Rift) أو انهدام البحر الميت (Dead Sea Rift) الذي يمتد من خليج العقبة مروراً بوادي عربة حتى نهاية غور الأردن شمالاً بطول 360 كم وبعرض يتراوح بين 10– 20كم (عابد،1985). وتقع منطقة الدراسة في الأغوار الجنوبية والتي تشكل النهاية الجنوبية للبحر الميت.وتمتد من شاطئ البحر الميت شمال غور حديثه حتى غور الصافي جنوباً بالإضافة إلى شبه جزيرة اللسان. وتقع منطقة الدراسة بين دائرتي عرض °31-̊31 و24 وبين خطي طول 35 و23–35 و33 إلى الجنوب الغربي من العاصمة عمان بحوالي 150 كم وترتبط هذه المنطقة مع المناطق الأخرى بشبكة طرق إسفلتية جيده، ويمكن الوصول إليها عن طريق الخط الذي يربط شمال الأردن مع جنوبه مروراً بالأغوار أو عن طريق الخط الذي يربط محافظة الكرك بالأغوار الجنوبية، أو عن طريق الخط الذي يربط محافظة الطفيلة بنهايات الأغوار الجنوبية في قرية المعمورة. ويبين الشكل (2) موقع الدراسة الحالية.



شكل (1)

الانهدام الإفريقي السوري

(المصدر: عابد1985)



المرجع: الخرائط الطبوغرافية مقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠، لوحة عمان، المركز الجغرافي الملكي الأردني، ١٩٩٨

شكل (٢)- موقع منطقة الدراسة.

1.3 مشكلة الدراسة وأهميتها

يظهر في مناطق جنوب وشرق البحر الميت في غور حديثة ومنطقة اللسان تشققات (Cracks) وحفر إذابة (Sinkholes)مختلفة الأبعاد والإشكال، والتي تنتج عن أسباب عديدة. وأصبحت تلك الحفر والتشققات تهدد الأراضي الزراعية والمنشئات السياحية والصناعية والسكان القاطنين وممتلكاتهم في تلك المناطق. وتشير بعض الدراسات بأن نشوء تلك الحفر ناتج عن الانخفاض المستمر لمستوى مياه البحر الميت نتيجة أسباب عديدة أهمها: تحويل مياه نهر الأردن وأقامه السدود التحويلية على الأودية التي تشكل احد روافد البحر الميت المهمة مثل: وادي الموجب، والذراع، وابن حماد، وادي الحسا وغيرها من الأودية التي تقع للشرق من البحر الميت والتي تصب فيه مباشرةً. بالإضافة إلى الضخ الكبير من مياه البحر الميت نفسه للعديد من الصناعات الكبيرة في تلك المناطق، ومنها شركة البوتاس العربية والإسرائيلية وشركة البرومين. مما يعني استمرار المشكلة من حيث ازدياد عدد حفر الإذابة وزيادة عمقها وانتشارها وتطورها. وفي كثير من الحالات تتحد تلك الحفر لتشكل مناطق منخفضة فجأة وبمساحة كبيرة نسبياً وبالتالي تزداد الأخطار الناتجة عن تلك الحفر.لذا فان هذه الحفر تمثل ظاهرة ديناميكية ترتبط إلى حد كبير بالهبوط المستمر لمستوى سطح البحر الميت. وأثبتت المشاهدات الميدانية والدراسات بأنها ظاهرة تتطور مع الزمن مما يجعل نتائجها السلبية أكثر فاعلية وتدميرا في المستقبل. ومن الأمثلة على ذلك، إنهيار سد الملاحات رقم 19 التابع لشركة البوتاس العربية حيث انهار جزء كبير من ذلك السد خلال ساعة واحدة وكانت الخسائر المادية أكثر من 38 مليون دينار أردني(اتصالات شخصية مع شركة البوتاس العربية)، وانهيار إحدى المنشئات السياحية التابعة لمؤسسة الضمان الاجتماعي. بالإضافة إلى ظهور تلك الحفر في الوحدات الزراعية في منطقة غور حديثة. وبلغ عدد تلك الوحدات التي ظهرت فيها الحفر الانهدامية 15 وحدة زراعية وقد تركت تلك الوحدات بدون زراعة لخوف المزارعين على أرواحهم وممتلكاتهم.

ولأهمية وديناميكية هذه الظاهرة فان الدراسة الحالية تهدف إلى معرفة أسباب حدوث تلك الحفر وآليات نشؤها وتطورها والإخطار الناتجة عنها. وستشكل المعلومات

التي ستوفرها هذه الدراسة ونتائجها ركيزة أساسية يمكن أن يعتمد عليها صاحب القرار في التخطيط والتنفيذ السليم الذي يؤدي إلى تجنب النتائج السلبية لتلك الحفر على المشاريع والمنشئات المقامة أو المنوي إقامتها في تلك المناطق، بالإضافة إلى الأراضي الزراعية حفاظا على أرواح سكان تلك المناطق وممتلكاتهم وللحفاظ على الأموال الطائلة التي صرفت وما تزال على الكثير من المشاريع الصناعية والسياحية والتي تهددها ظهور تلك الحفر.

وبناءاً على ما سبق فان هذه الدراسة تسعى لتوضيح الأمور التالية:

1- الأسباب التي تؤدي إلى ظهور حفر الإذابة في منطقة الدراسة.
2- آلية نشوء تلك الحفر وديناميكية تكونها.
3- الأخطار الناتجة عن تكون تلك الحفر لا سيما الأخطار البيئية والجيولوجية والاقتصادية.
4- سبب ظهور الحفر في مناطق محددة على شواطئ البحر الميت.
5- أثر قناة البحرين المنوي إقامتها بين البحر الميت والبحر الأحمر على تطور حفر الإذابة في منطقة الدراسة

وإدراكاً لخطورة تلك الحفر في مناطق حيوية من الناحية الصناعية والزراعية والسياحية والنقل، وما يترتب على تلك الأخطار من خسائر كبيرة على الاقتصاد الوطني، تأتي هذه الدراسة لتسلط الضوء على ظاهرةً تتطور مع الزمن وذات انعكاسات سلبية كبيرة على مختلف القطاعات في الوقت الحاضر والمستقبل.

1.4 أهداف الدراسة

لتحقيق أهداف الدراسة لابد من تناول مجمل العوامل والأسباب الطبيعية والبشرية المسؤولة عن تكون ونشوء تلك الحفر في منطقة الدراسة على وجه الخصوص. وكذلك البحث والتقصي عن آليات تكونها من خلال الدراسة الميدانية المكثفة والإطلاع على الكثير من الدراسات السابقة.

لذا فان هذه الدراسة تهدف إلى:-

أولاً :- اختبار وفحص الفرضيات السابقة التي تناولت أسباب واليات تشكل حفر الإذابة في المناطق المحاذية للبحر الميت، وكذلك إمكانية وضع فرضيات جديدة، وتفسير تلك الفرضيات، استناداً على الدراسات الميدانية التي ستشمل شواطئ البحر الميت الشرقية على الجانب الأردني وخطوط شواطئه القديمة (Palaeoshore Lines)، بالإضافة إلى شبه جزيرة اللسان (Lisan Peninsula).

ثانياً :- التعرف على الخصائص المورفومترية (morphometric properties). لأنواع حفر الإذابة في منطقة الدراسة.

ثالثاً :- تحديد وتقييم الأخطار الجيولوجية والبيئية والاقتصادية الحالية والمتوقعة مستقبلاً الناتجة عن تشكل تلك الحفر في منطقة الدراسة.

رابعاً:- أثر الانخفاض المستمر للبحر الميت الذي يهبط بمعدل يصل ما بين 0.6-0.7 م/السنة على تطور وظهور تلك الحفر.

خامساً :- تقييم أثر إنشاء قناة البحرين التي سوف تربط بين البحر الأحمر والبحر الميت على حفر الإذابة التي تكونت وظهرت على السطح وتلك الحفر المستترة التي لم تظهر بعد.

الفصل الثاني

الإطار النظري والدراسات السابقة

1.2 الدراسات السابقة

وبخصوص حفر الإذابة فقد قام (Crammer, 1941) بدراسة لمحاولة إيجاد أي ارتباط أو صلة ما بين تطور ونوع العملية التي تكونت الحفرة من خلالها وبين كثافة الحفر أي عدد الحفر الإجمالية لوحدة المساحة أو حساب مساحة الحفر لوحدة المساحة. وتوصل في نتائجه إلى عدم وجود أي صلة أو ارتباط بين كثافة الحفر وآلية تشكلها.

وذكر (Malott , 1945) بأن هناك المئات بل الآلاف من حفر الإذابة في مناطق جنوب إنديانا وكنتاكي (Kentucky) في الولايات المتحدة الأمريكية. وعزى تكون تلك الحفر إلى عمليات الإذابة(Dissolution) التي تنشأ عن هطول المطر الكثيف في تلك المناطق الذي يتسرب إلى الطبقات تحت السطحية من خلال التشققات مما يؤدي إلى إذابة الصخور الهشة وبالتالي ترك فراغات ما تلبث أن تنهار فجأةً.

وذكر (Thornbury,1954) في كتابه مبادئ الجيومورفولوجيا (Principles of Geomorphology) أن الإذابة هي العامل المسؤول عن نشأة جميع أنواع الحفر بأنواعها وأشكالها المختلفة، ورغم ذلك يوجد أنواع مختلفة تتظافر فيها عوامل الانهيار (Collapse) والهبوط(Subsidence) مع عامل الإذابة. وبناء علية تم التفريق والتمييز بين مجموعتين رئيسيتين من الحفر ينضوي تحتهما أنواع فرعيةً أخرى وهما:-

1- مجموعة حفر الإذابة.

2- مجموعة حفر الانهيار.

وبذلك يكون هناك ارتباط قوياً بين آلية التشكل ونوع الحفرة.

وذكر (Olive , 1957) أن تشكل حفر الإذابة لا يعود أصله إلى الحركات الأرضية التي تتعرض لها منطقة ما وإنما ترتبط نشأتها بعمليات الإذابة فقط، ولكن قد تساعد الحركات الأرضية في إضعاف تلك المناطق من حيث بنيتها وتماسكها فقط.

ودرس كل من(Colman & Balchin,1959) بعض الخصائص المورفومترية لحفر الإذابة في منطقة(Mindip Hills)، ووجدا بان هناك ارتباطاً وثيقاً بين معامل التضرس، الذي ينشأ من حاصل تقسيم عمق الحفرة على قطرها وبين العملية التي شكلت تلك الحفرة. فقد أوضحا أن المنحنى الذي ينشأ من خلال إحداثيات العمق والقطر يكون خطاً مستقيماً ذو اتجاه واحد في الحفر التي تنشأ بسبب الإذابة، أما في الحفر التي تنشأ بسبب الانهيار فيكون المنحنى خطاً متعرجاً وليس مستقيماً.

وقام (Paul Williams, 1966;1972) بدراسة المتغيرات المورفومترية لحفر الإذابة، مثل كثافة الانخفاض (depression density)، ونسبة منطقة الحفر (sinkhole area ratio) ووضع بعض المعادلات، التي تربط بين المتغيرات الأساسية لحفر الإذابة (العمق، نسبة منطقة الحفر، العرض) التي ساعدت في وصف تلك الحفر والمناطق التي تظهر فيها.

وذكر (Fairbridge,1968) في مؤلفه موسوعة الجيومورفولوجيا (Encyclopedia of Geomorphology) أن الحجر الجيري الطباشيري لا يعد بيئة مثالية لتشكل الظواهر الكارستية أو حفر الإذابة، وذلك بسبب خصائصها غير المتماسكة التي لا تحتفظ بالمعالم التي تشكلت بها إلا أنها مع ذلك قد تتعرض للإذابة التي تؤدي إلى نشوء وتكون أنماطاً كارستية ومنها حفر الإذابة.

وذكر (Jennings , 1971) أن نوع المواد الصخرية التي يتألف منها جدران الحفرة يرتبط بآلية تشكلها، فعندما لا يظهر أي من الفتات الصخري المتبقي (Residual Overburden) على حواف الحفرة أو في أسفلها، فإن هذا يشير إلى تكون الحفرة

بسبب الإذابة وليس الانهيار السريع المفاجئ أي أن أبعاد الحفرة تتطور وتزداد مع ازدياد عملية الإذابة.

كما قام كل من (Ogden and Reger, 1977) باستخدام التحليل المورفومتري لحفر الإذابة في منطقة غرب فيرجينيا من أجل محاولة التوصل إلى التنبؤ عن هبوط السطح في (Monroe county) الذي تظهر فيه الكثير من حفر الإذابة واستطاعوا من خلال دراستهم تحديد المناطق التي يمكن أن تكون عرضة للهبوط في منطقة الدراسة.

وذكر (Todd , 1980) أن هبوط سطح الأرض في منطقة ما يمكن أن ينشأ عنه تكون حفر إذابة كما أن انخفاض مستوى المياه الجوفية يمكن أن يرافقه ظهور مثل تلك الحفر وخاصة في المناطق التي تتكون من صخور قابلة للإذابة، مثل الدولومايت والحجر الجيري والترسبات الملحية، كما أن المناطق القريبة من آبار ضخ المياه وما ينتج عنه من انحدار في منسوب المياه الجوفية قد يؤدي إلى تكون تلك الحفر أيضاً. وأشار (Joseph et al.,1998) في دراسة بعنوان حفر الإذابة في صخور البخر (Sinkholes in Evaporite Rocks) أنه علاوة على ظهور حفر الإذابة كظاهرة كارستية شائعة في الصخور الجيرية مثل الحجر الجيري(Limestone) والدلومايت(Dolomite) فإن تلك الحفر تظهر أيضاً في الصخور الملحية مثل الجبص(Gypsum) والصخور الملحية(Salt Rocks) بمختلف أنواعها والتي تتصف بذائبية(Solubility) عالية حيث أن ذائبية الجبص أعلى بحوالي 150 مرة من ذائبية الحجر الجيري وان ذائبية الملح(كوريد الصوديوم) أعلى 7500 مرة من ذائبية الحجر الجيري وهذه الذائبية العالية للصخور الملحية بشكل عام تجعل استجابتها عالية وسريعة جداً لعمليات الإذابة والتي تظهر نتائجها خلال أيام أو أسابيع على الأكثر مخلفةً وراءها حفر الإذابة والانهيارات المدمرة. كما أشارت الدراسة إلى انه يتوجب توفر أربعة متطلبات رئيسية لنشوء حفر الإذابة في صخور البخر وهي:

1- توفر الصخور الملحية القابلة للذوبان.

2-الماء.

3-طاقة حركية للماء للقيام بعمليتي الإذابة والنقل.

4-أن تكون الترسبات الملحية غير مشبعه بكبريتات الكالسيوم($CaSO_4$). وتنتشر ظاهرة حفر الإذابة في صخور البخر في العديد من المناطق في الولايات المتحدة الأمريكية في تكساس ونيومكسيكو واكلاهوما وغيرها من المناطق في العالم التي تحتوي مناطقها على ترسبات كيميائية بشكل عام.

وقامت (Diane Fordiks, 2000) باستخدام التحليل المورفومتري لوصف اتجاهات تطور حفر الإذابة وفيما إذا كان هناك أي تأثير للتراكيب الجيولوجية أو نوعية الصخور أو المياه السطحية أو الجوفية على شكل حفر الإذابة لمناطق في غرب فرجينيا (West Virginia) ولكنها لم تتمكن من تقدير سرعة نمو تلك الحفر. وقد استخدمت بعض المعالجات الإحصائية لبعض المتغيرات مثل الطول والعرض والعمق باستخدام توزيع كاي وتوزيع فيشر.

وقام (Fisher , 2003) بدراسة بعنوان التحليل المورفومتري لحفر الإذابة في منطقة جيفرسون (Jefferson) غرب فيرجينيا باستخدام الصور الفضائية ونظم المعلومات الجغرافية (GIS). وقد حاول في دراسته التمييز بين أنواع الحفر وطبيعة المنطقة التي ظهرت فيها من الناحية الجيولوجية والتكوين الصخري. وقد توصل إلى أن هناك اختلافاً كبيراً من حيث كثافة الحفر في وحدة المساحة ونوع التكوين الصخري.

أما الدراسات التي تناولت حفر الإذابة للمناطق المحيطة بالبحر الميت فقد قام أبو كركي(1995) بعمل مسح جيوفيزيائي مستخدماً الطريقة الجذبية (Gravity Method) في غور حديثة من اجل الكشف عن حفر الإذابة المستترة وكذلك تقييم الخطر الناتج عن تلك الحفر. ولقد كشفت دراسته عن وجود (54) حفرة إذابة مستترة في مساحة لا تتجاوز 1كم^2.

ودرس كل من (Taqieddin et al., 2000) جيولوجية وجيوتقنية (Geotechnical) حفر الإذابة على شواطيء البحر الميت على الجانب الشرقي، وربطوا تكون تلك الحفر بانحسار مياه البحر الميت وتراجع شواطئه،ووجدوا أن معظم حفر الإذابة تظهر بالقرب من قنوات الماء القديمة، وتتركز في مناطق تقع بموازاة شاطيء البحر الميت الحديث، بالإضافة إلى الإشارة بأنه قد يكون هناك نشاط تكتوني

في نفس المنطقة يساعد على نشوء تلك الحفر. وحذروا في دراستهم من تطور تلك الظاهرة في المستقبل التي يمكن أن تشمل مناطق واسعة في المنطقة. وقد أكدوا انه ليس هناك حلاً عملياً هندسياً على المدى المنظور للحد من تأثير تلك الحفر أو التغلب عليها .

ودرس كل من (Arkin and Gilat,2000)حفر الإذابة على الجانب الغربي للبحر الميت في مناطق زوهار(Zohar) وكاليا (Qalia) وعين سمر (Ein Samar) وعين جدي (Ein Gedi) والشاطيء المعدني (Mineral Beach) على الجانب الغربي. وقد ذكروا ثلاثة أنواع من حفر الإذابة في منطقة دراستهم وهي حفر الحصباء (Gravel Holes) والتي تظهر في المراوح الفيضية القديمة، وحفر الطين (Mud Holes) التي تظهر في نهايات المراوح الفيضية الحديثة،وحفر الإذابة القديمة (Relict Holes) التي تظهر في بعض القنوات والمجاري المائية للمراوح الفيضية القديمة، وقد ربطا تكون تلك الحفر بسببين هما انحسار مياه البحر الميت ووجود مسيلات مائية تحت سطحية.وأشار الباحثان إلى أن تغير الجريان تحت السطحي من صفائحي(Laminar) إلى مضطرب(Turbulent) نتيجة تغير في الانحدار يؤدي إلى بداية تكون وتشكل حفر الإذابة. ووجدوا في دراستهم أن مياه تحت سطحية تسببت بوجود مجموعة كبيرة من حفر الإذابة على طول مجراها.

وفي دراسة قام بها كل من(Batayneh et al.,2002) عن حفر الإذابة في غور حديثة للكشف عن حفر الإذابة المستترة باستخدام تقنية (GPR) *Ground-Penetrating Rader من خلال تحديد الفراغات والفجوات تحت السطحية. وتتصف هذه التقنية بالسرعة وانخفاض تكاليفها بالإضافة إلى سهولة استعمالها وتغطيتها لمساحات كبيرة نسبياً. وقد تم تحديد مواقع بعض الحفر التي لم تنهار بعد في منطقة مزارع غور حديثة.

---

* تعتبر تقنية GPR من الطرق التي تستخدم في عمل الخرائط الجيوفيزيائية في زمن قصير لمناطق محددة تحت سطح الأرض .مبدأ عمله هو اطلاق نبضات عالية التردد تتراوح بين 10- MHz1000 على شكل طاقة الكترومغناطيسية، حيث تخترق هذه الطاقة الأرض،ثم يتم استقبال الإشارات المنعكسة والمنكسرة والتي تعكس الخصائص الكهربائية لطبيعة الصخور تحت السطح من حيث المحتوى المائي والمسامية والفجوات تحت سطح الأرض والتي يمكن الكشف عنها بسهولة بهذه التقنية.ويمكن للأمواج الرادارية أن تخترق أكثر من عشرة أمتار ولكن لا يتجاوز الاختراق لمعظم السطوح أربعة أمتار فقط.

كما قام كل من (Abelson et al.,2003) بدراسة حفر الإذابة في المناطق القريبة لشواطيء البحر الميت، وأشاروا بأن نشوء حفر الإذابة مرتبط بعمليات الإذابة للطبقات الملحية المدفونة تحت السطح، حيث تحدث الإذابة بواسطة المياه العذبة نتيجة انخفاض مستوى الماء الجوفي (Water Table) المرافق لانخفاض سطح المياه للبحر الميت. ويعتقد هؤلاء الباحثون أن هناك نطاقات صدعية حديثة وفعالة في المنطقة التي تظهر فيها حفر الإذابة، وأشار الباحثون إلى أن الطبيعة الخطية لتلك الحفر (Linear trend) تتوافق مع وجود صدوع ضحلة حديثة نسبياً يبلغ عمرها عدة آلاف السنيين فقط ومدفونة على أعماق عشرات الأمتار. وقد استخدم الباحثون مجموعة من التقنيات منها الحفر(Drilling) و تقنية التداخل الراداري الفضائية (Radar Interferometry) للكشف عن مواقع الحفر التي لم تنهار بعد، وقد تم تحديد مواقع عدد من تلك الحفر المستترة من خلال استخدام تلك التقنية.

كما وتناول كل من (Closson et al.,2003) في دراسة مشتركة تتعلق بحفر الإذابة على شاطئ البحر الميت الشرقي، وقد أظهرت الدراسة نتائج 9 سنوات من المراقبة لتلك الحفر بواسطة استخدام تقنية التداخل الراداري الفضائي. (Radar Differential Interferometry)* وكذلك الطريقة الجذبية** (Gravimetric

- تقنية التداخل الراداري الفضائي (Radar Differential Interferomotry)

تعتبر هذه التقنية من الأنظمة الفعالة (Active remote sensing Systems) حيث يقوم الرادار بإرسال موجات رادارية (Microwaves) بطول موجة تتراوح ما بين 3سم وعدة أمتار ويمكن تبسيط مبدأ عملة بالصورة التالية : يعتمد مبدأ الرادار على حساب الزمن اللازم لوصول الموجة وارتدادها مرة أخرى للرادار.

حيث:

$$D = \frac{C\gamma}{2}$$

D : المسافة

C: سرعة الضوء

γ :الفترة الزمنية منذ انطلاق الموجة من الرادار وعودتها مرة أخرى.

** هي إحدى الطرق الجيوفيزيائية Geophysical Method والتي تعتمد على مبادئ أساسية كقانون التسارع ألجذبي، فالمعروف بأن الأرض ليست منتظمة الشكل وغير كروية وهي في حالة دوران ،مما يجعل هناك اختلافات في قيم الجاذبية فوق سطحها ،وهذه الاختلافات صغيرة ويمكن قياسها بدقة عن طريق الأجهزة الحساسة،كجهاز المجذاب Gravimeter.

Method)، فأثبتت تقنية التداخل الراداري الفضائي نجاحاً كبيراً من حيث الكشف الدقيق وسهولة المتابعة واقتصادية العملية لحفر الإذابة في منطقة الدراسة.

وحديثا قام كل من (Closson et al.,2005) بدراسة بعنوان تقييم خطر حفر الإذابة في المنطقة الجنوبية للبحر الميت وبالذات المنطقة التي انهار فيها سد الملاحات التابع لشركة البوتاس العربية وغور حديثه. وأشارت الدراسة أنه يجب إجراء الدراسات الجيوفيزيائية والرادارية للمناطق المنوي إقامة المشاريع الصناعية والسياحية عليها وذلك للحفاظ على الأموال التي تصرف على تلك المشاريع الصناعية والسياحية وكذلك الحفاظ على أرواح السكان الأصليين والزائرين لتلك المناطق.

من خلال ما تقدم نجد أن هناك وفرة في المعلومات التي وفرتها الدراسات السابقة والتي سيوضفها الباحث للاستفادة منها وربط نتائجها مع نتائج الدراسة الحالية. كما أن تعدد الفرضيات التي وضعها الباحثون السابقون تعطي الباحث فرصة للاختبار مثل هذه الفرضيات. علماً أن حفر الإذابة آلية ديناميكية وتتطور مع الزمن وبالتالي فإن عامل الزمن مهم في تتبع مثل هذه الظاهرة والكشف عن الآليات الأكثر تفسيراً لتكون هذه الظاهرة. وبما أن البحر الميت ينحسر باستمرار، فإن ذلك يضيف بعداً ديناميكياً آخر على تتطور تلك الحفر ومحاولة فهما بصورة جيدة.

الفصل الثالث

المنهجية والاجراءات

1.3 المنهجية

لتحقيق أهداف الدراسة الحالية التي تشمل المناطق المحاذية لشاطئ البحر الميت على الجانب الأردني، بالإضافة إلى شبة جزيرة اللسان فإنه تم:

أولاً: استخدام الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية والتركيبية والصور الفضائية، لتحديد التوزيع الجغرافي لتلك الحفر وعلاقتها بطبيعة السطح السائد، ومجاري الأودية وحدود شواطئ البحر الميت، وتم استخدام عدة غطاءات من الصور الفضائية لتحديد الوضع السائد سابقاً.

ثانياً: الدراسة الميدانية وتشمل ملاحظة الشواهد الميدانية وتوثيقها بالصور الفوتغرافية، بالإضافة إلى القياسات الحقلية المتعلقة بالخصائص المورفومترية للحفر وطبيعة الأراضي المجاورة.

ثالثاً: القيام بقياس المتغيرات المورفومتيرية لحفر الإذابة بأنواعها مثل:- طول الحفرة (Length) وعرضها (Width) وعمقها (Depth) وكثافتها (Density)، والمقصود بالكثافة هنا عدد الحفر في مساحة معينة. وسيتم استخدام هذه المتغيرات في عملية التحليل المورفوميتري (Morphometric Analysis) لمعرفة فيما إذا كان هناك ارتباط بين الخصائص المورفومتريه للحفر ونوع العملية (Mechanism) التي أدت إلى تكونها أصلاً.

وكذلك حساب طاقة التضرس (Relief Energy) وهو عبارة عن حاصل تقسيم عمق الحفرة على قطرها. الذي يمكن من خلاله التعرف على نوع العملية التي ساعدت على تكون حفرة الإذابة(Colman and Balchin,1995) .

وأيضاً حساب معامل الاستطالة والاستدارة لحفر الإذابة إذ أن حفر الإذابة في منطقة الدراسة تتخذ أشكالاً دائرية وبيضاوية :

- معامل الاستطالة = $\frac{\text{اكبر قطر تتخذه فتحه الحفرة}}{\text{اصغر قطر لنفس الحفرة}}$ (Le Valle, 1967)

- معامل الاستدارة هو النسبة بين مساحة فتحة الحفرة إلى مساحة دائرة لها طول محيط الحفرة نفسها(Doornkamp and King, 1971) وذلك لمعرفة اتجاه الاستطالة والتي سيكون له تفسير فيما بعد.

رابعاً: استخدام النظام العالمي لتحديد الموقع الجغرافي (Gps)، (UTM,WGS84,Zone36) وذلك لتحديد مواقع انتشار حفر الإذابة وإسقاط تلك المواقع على الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية التركيبية والصور الفضائية للمساعدة في فهم وتفسير أسباب وآلية تكون حفر الإذابة.

2.3 الإطار العام

1.2.3 جيولوجية المنطقة

معظم الصخور التي تنتشر في منطقة الدراسة وما حولها،هي من الصخور الرسوبية التي تعود أعمارها إلى حقبة الحياة القديمة (Paleozoic Era) والمتوسطة (Cenozoic Era) وبداية حقبة الحياة الحديثة (Cenozoic Era). (AL.Zoubi and ten-Brink, 2001).

وهناك جزء بسيط يشكل اخر انكشاف للدرع العربي النوبي (Arabian-Nobian Shield) باتجاه الشمال، وهي من أقدم الصخور في منطقة الدراسة وتتكشف شرق غور الصافي مقابل شركة البوتاس العربية من الجهة الشرقية. وتتكون هذه الصخور من السراموج(Sarmouge) والإردواز (Silt) وصخور الديورايت (Diorite)،ويقدر عمر هذه الصخور بأقدم من 575 مليون سنة(عابد،1985).

وتتكشف أيضاً صخور الكامبري الاوسط(Middle Cambrian) والتي تتكون من صخور الدولومايت (Dolomite) والغضار (Shale) والحجر الرملي (Sandstone)، ويظهر فيها انواع مختلفة من المستحاثات(Fossils) وكذلك تحتوي على بعض التراكيب الرسوبية التي تدل على ان تلك الرسوبيات بحرية المنشأ.

أما صخور الكامبري الأعلى(Upper Cambrian) فتتكون في غالبيتها من الصخور الرملية بنية اللون (Bender,1974) وتتكشف هذه الصخور في وادي عيسال والكرك وابن حماد .

وتتكشف صخور حقبة الحياة المتوسطة،ومنها صخور العصر الترياسي(Triassic) وهي عبارة عن صخور رملية يتداخل فيها بعض الصخور الطينية وتحتوي ايضاً على كميات قليلة من الحجر الجيري المستحاثي (Fossillefrous Limestone)، ويظهر في هذه الصخور القواطع العمودية(Dykes) والقواطع الأفقية (Sills)، وهذه القواطع من صخور قاعدية نارية(Basic Igneous Rocks) وتتكشف هذه الصخور في وادي ماعين والدردور ومخيريس حتى وادي حسبان في الشمال(Khoury and Bandel,1981). هذا وتخلو منطقة البحر الميت من الصخور التي تعود للعصر الجوارسي(Jurassic) (عابد،1985).

وتتكشف صخور الكريتاسي الاسفل (Lower Cretaceous) والمكونة من صخور الكرنب الرملي (Kurnub Sandstone) يتخللها كميات قليلة من الصخور الطينية(Clay)،وتتكشف في الأودية الواقعة جنوب وشرق البحر الميت بمسافة بعيدة (عابد، 1982).

وتظهر أيضاً صخور الكريتاسي الأعلى(Upper Cretaceous) في منطقة الخرزة غرب منطقة الكرك وتتكون هذه الصخور من الحجر الجيري(Limestone)

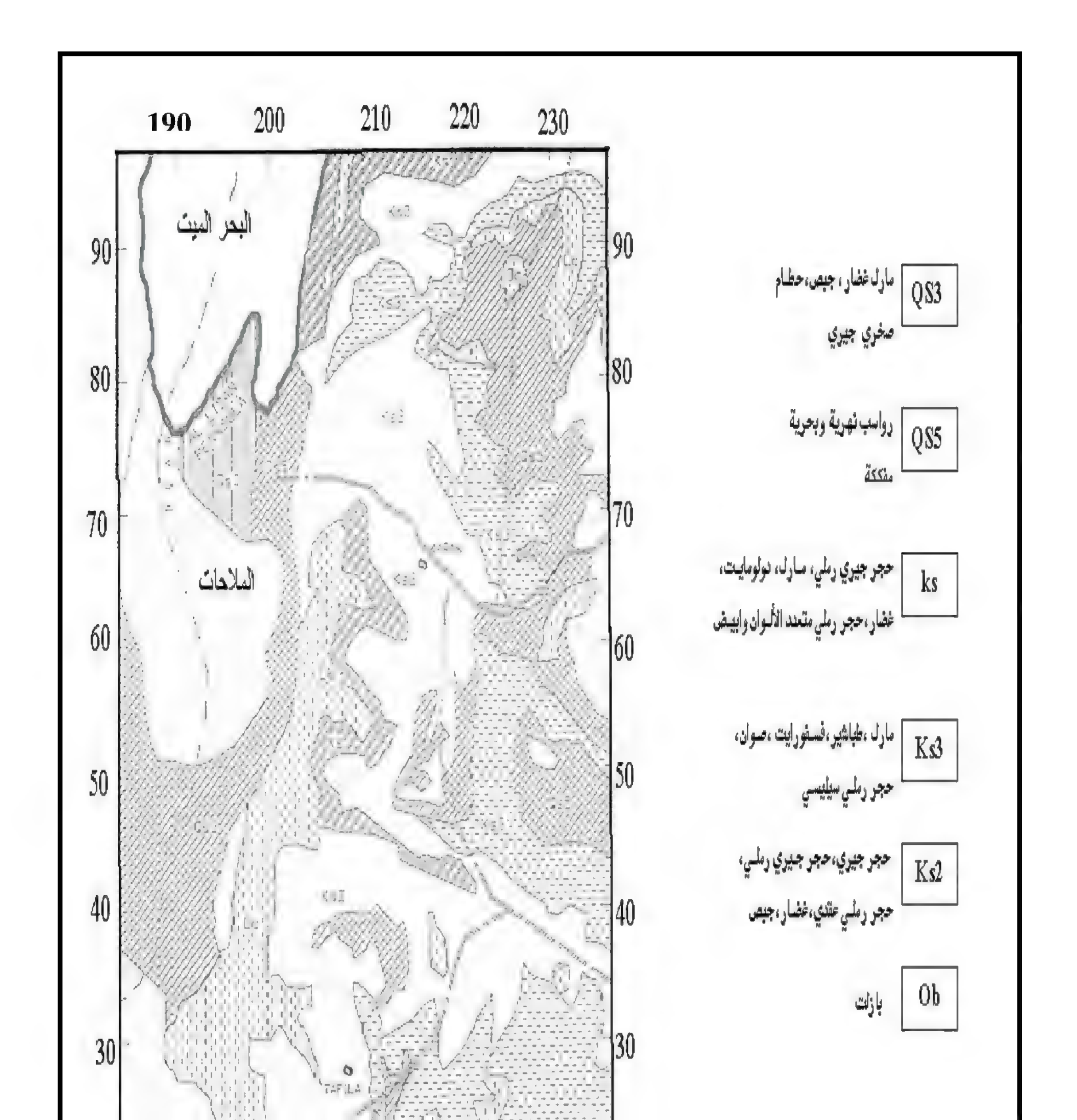
والمـــارل(Marl)والصـــوان (Chert) والفوســـفات(Phosphate) والصـــخر الزيتـــي (Oil Shale) (عابد،1982). وتتكشف صخور عصر الايوسين(Eocene) والتي تتكون من الحجر الجيري شرق منطقة اللسان في منطقة الذراع. ويوضح الجدول (1) التتابع الطبقي لمنطقة البحر الميت من الأقدم إلى الأحدث. والشكل (3) يبين الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة.

جدول(1)

التتابع الطبقي للمناطق المحيطة بالبحر الميت

الحقبة Era (ملايين السنين)	العصر Pertod ملايين السنين	التكوين أو المجموعة	المكان	اوصاف الصخور
ما قبل الكامبري Precomtxianاقدم من 570		السرموج	شرق غور الصافي	كونجلوميرات وصخور رملية جروكية واردواز مع قواطع
حقب الحياة القديمة Palcozoic 570-220	الكامبري الأوسط	البرج	قرب مصب ماعين وشرق اللسان والصافي	دولومايت وحجر رملي وصخور طينية، تحتوي المستحاثات وآثار المستحاثات والتسطبق المتقاطع والتموجات صخور رملية كتلية
	الكامبري الاعلى	رم	شرق البحر الميت عموما	بنية التجدية
حقب الحياة المتوسطة Mesozoic	الترياسي الأسف والأوسط		وادي الموجب وحتى شمال سويمة	صخور رملية مع طبقات رقيقة من الصخور الجيرية تزداد شمالا
220-56	الكرتياسي الأسفل	الكرنب	شرق البحر الميت عوما	صخور رملية مع قليل من الصخور الطينية والجلوكونايت صخور جيرية وصوان ومارل

	الكرتياســـي			وصخور زيتية
	الأعلى	البلقاء وعجلون	شرق البحر الميت عوما	
حقب الحياة الحديثة	ابو سين		غرندل في وادي عرب	صخور جيرية
40-65 Cenozoic	اوليجو سين			



شكل (3)

جيولوجية المنطقة

المصدر (سلطة المصادر الطبيعية)

2.2.3 التراكيب الجيولوجية لحوض البحر الميت

يمتد حوض البحر الميت من جبل الريشة في الجنوب – حوالي 60كم جنوب صدع(Fault) خنيزيره حتى دلتا نهر الأردن(حوض أريحا) في الشمال عدة كيلومترات

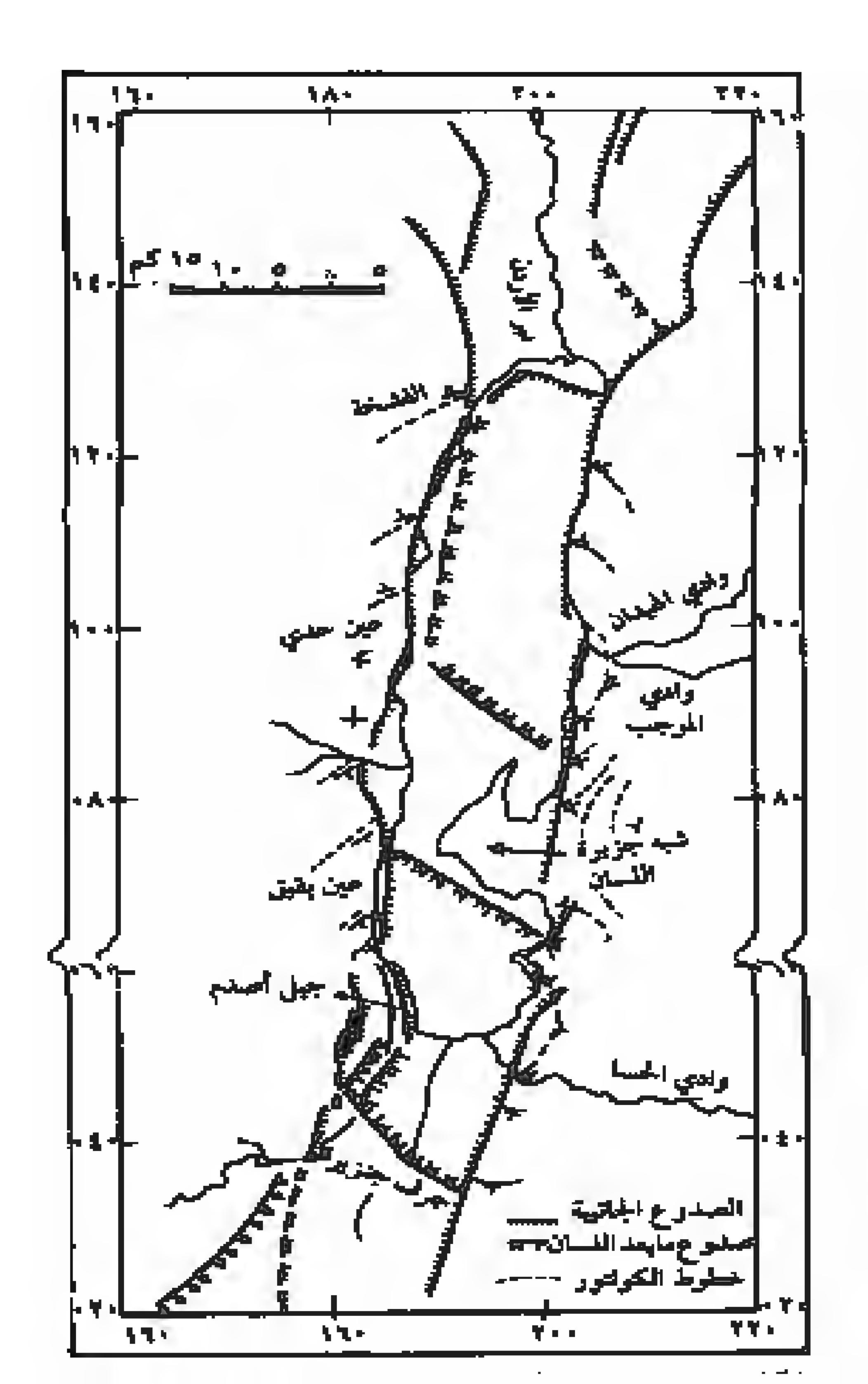
من شاطيء البحر الميت الشمالي (AL-Zoubi and Brink,2001) حيث تشكل هذا الحوض نتيجة حركة انزلاقية يسرى (Strike-Slip Movement) شكل (4). هذا ويمكن ملاحظة العديد من الصدوع الرئيسية مثل صدع وادي عربه والذي يمتد بمحاذاة شواطيء البحر الميت الشرقية والصدع الذي يمتد بمحاذاة الشواطيء الغربية له، شكل(5).

ومن الصدوع الأخرى التي يمكن تمييزها صدع خنيزيرة وصدع اصدم وصدع غور الصافي وغيرها من الصدوع كما يمكن ملاحظة مرتفع اللسان. (Lissan Diapir) ومرتفع سدوم (Diapir).



شكل (4)

الحركة الانزلاقية في حوض البحر الميت



وادي الموجب
شبه جزيرة اللسان
عين بقيق
جبل اصدم
وادي الحسا
الصدوع الجانبية
صدوع مابعد اللسان
خطوط الكونتور

شكل (5)

التراكيب الجيولوجية في منطقة الدراسة

المصدر :(Neev and Emery,1967)

3.2.3 التربة في منطقة الدراسة

تعتبر التربة في منطقة الدراسة من النوع المنقول (Transported Soil) التي نتجت عن عمليات الحت والتعرية والتجوية بأنواعها، ثم عمليات النقل المائي حيث تكونت مخاريط الارساب للمراوح الفيضية (Alluvial Fans) وتشكلت سهول متقطعة بأودية عميقة نظراً لفارق المنسوب وعامل التضرس بين المرتفعات شرق منطقة الأغوار ومنطقة الأغوار نفسها. وتنتشر التربة الملحية بشكل نطاقات واسعة بسبب شدة ملوحة البحر الميت وانحسار البحر عن الأراضي بسبب انخفاض منسوبه من جهة أخرى (البحيري،1973). وكذلك تنتشر التربة الرملية في مناطق واسعة من غور الصافي وغور فيفه وخنيزيره نظراً لقربها من منطقة وادي عربه نتيجة الارساب الريحي، وتنتشر كذلك الصخور الرملية من مصب وادي الموجب على امتداد الاغوار تتخللها بعض التلال الجيريه قليلة الارتفاع. أما رسوبيات اللسان، حيث تمتد شبة

جزيرة اللسان (Lissan Peninsula) من غور حديثة إلى قاع غور الصافي مسافة 9كم فتتكون صخورها من طبقات متعاقبة رقيقة من الجبص (Gypsum) والكالسايت (Calcite) والاراجونيت (Aragonite) والملح (Salt) (Bender,1974). وتغطي الرواسب الحديثة والتي تتكون من الحصى(Gravels) والرمل (Sands) والطين (Clay) معظم غور حديثة وغور المزرعة وبعض مناطق غور الصافي.

4.2.3 مناخ منطقة الدراسة

تتميز منطقة الأغوار الجنوبية والبحر الميت بمناخ مداري من حيث درجة الحرارة المرتفعة في فصل الصيف والتي يصل معدلها الى31مْ في حين أن معدل درجة الحرارة العظمى في النهار يصل إلى 39مْ، أما أعلى درجات حرارة سجلت في منطقة الأغوار الجنوبية فكانت 51.2مْ. أما في فصل الشتاء فيصل معدل درجة الحرارة في النهار إلى 15مْ ومعدلها الادنى9مْ، أما درجة الحرارة الدنيا المسجلة فهي صفر درجة مئوية.ومعدل الرطوبة النسبية حوالي25% وكمية الأمطار التي تتساقط على الأغوار الجنوبية فتصل في معدلها إلى اقل من100ملم/السنة.(نشرات الأرصاد الجوية2004).

3.3 البحر الميت: الماضي والحاضر والمستقبل

نال البحر الميت والمناطق المحيطة به اهتمام الباحثين والدارسين منذ أمد بعيد وما زالت الأبحاث والدراسات تتوالى حتى وقتنا الحاضر بسبب المكانة الدينية والحضارية والموقع الجغرافي المتميز وخصائص مياهه الفريدة علاوة على الخصائص الجيولوجية والتركيبية المعقدة للمناطق المحيطة به.

لقد ذكرت المناطق المحيطة بالبحر الميت في الكتب السماوية كما رسم البحر الميت نفسه في خريطة مادبا التي تعود للقرن السادس بعد الميلاد. لذلك نجد أن البحر الميت والمناطق المجاورة له قد تم دراستها دينياً وتاريخياً كما درست جيولوجيته ومياهه ونشأته والمراحل التي مر بها ومناطق الرفد المائي له. وكانت تلك الدراسات تظهر

تباعاً خلال الفترات الزمنية الماضية وما زالت من باحثين عرباً وأجانب. بالإضافة إلى العديد من الدراسات الجغرافية الطبيعية منها والبشرية التي تناولت منطقة الدراسة أيضا.

إن المنطقة التي يشغلها البحر الميت أثارت وما تزال اهتمام الباحثين من علماء الأرض والجغرافيين وغيرهم لأسباب عديدة أهمها:

أولاً: المنطقة تشكل انكساراً تكتونياً حديث التكوين في القشرة الأرضية، ويشغل قاع ذلك الانكسار بحر مغلق يصل انخفاض سطحه الآن (تموز 2005) 418م دون مستوى البحار الأخرى (قياس شركة البوتاس العربية).

ثانياً:حدوث تغيرات مناخية كبيرة في هذه المنطقة تسببت في جفاف البحر الميت تارة وامتلاؤه بالماء تارة أخرى.

ثالثاً: يعتبر البحر الميت أكثر الأجسام المائية ملوحة على وجه الأرض، إذ تبلغ ملوحته حوالي 326غم/لتر.

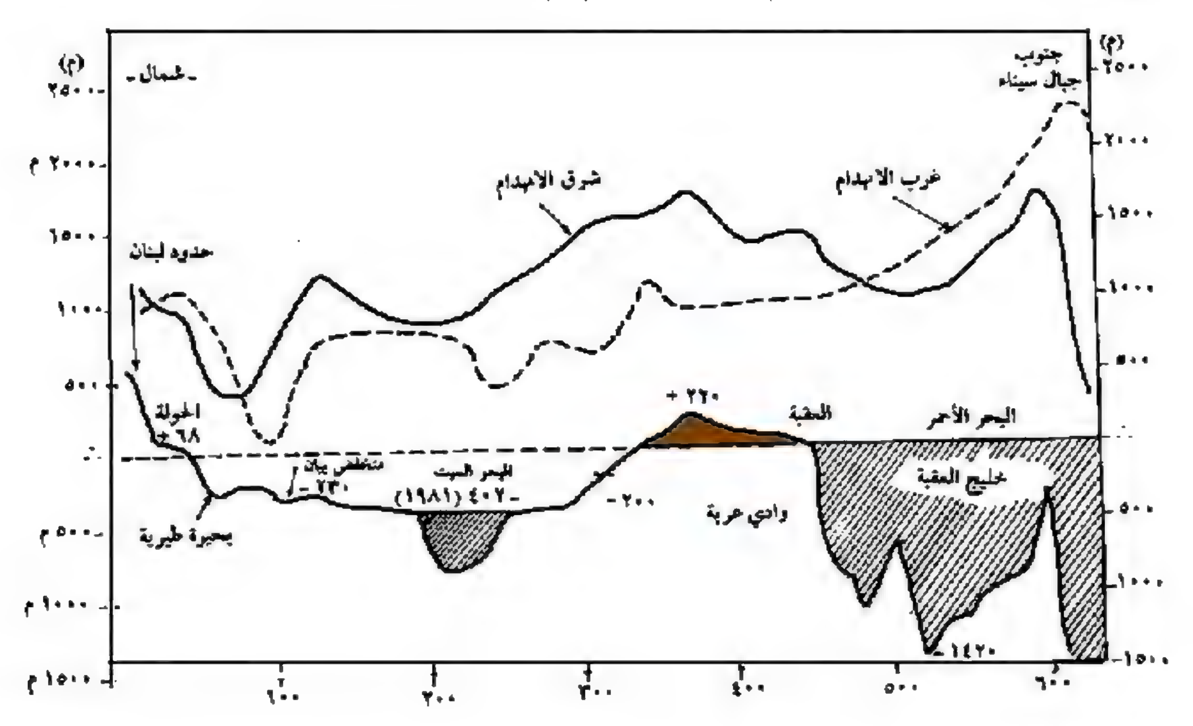
رابعاً: تتعرض منطقة البحر الميت باعتبارها نقطة الوصل للصدع التحويلي الأردني الذي يمتد من خليج العقبة فوادي عربه فالبحر الميت حتى وادي الأردن، ثم يكمل مساره حتى يصل إلى شبه جزيرة الأناضول إلى حركات تكتونية تؤدي إلى تراكم الإجهادات والضغوط التكتونية، مما يجعل المنطقة ذات فعالية زلزالية مستمرة.

خامساً: الأهمية الاقتصادية للبحر الميت بسبب الإرسابات الهائلة من الأملاح مثل أملاح البوتاس والبرومين.

سادساً: الأهمية الدينية والسياحية والزراعية لهذه المنطقة، حيث تتمتع هذه المنطقة بمناخ فريد في فصل الشتاء كما أن معظم الموارد المائية السطحية تنتهي في البحر الميت. مما جعل وادي الأردن سلة الخضار والفواكه للأردن وللأقطار المجاورة في فصل الشتاء .

سابعاً: يصلح البحر الميت كونه بحيرة مغلقة في تتبع المناخ الماضي(Palaeoclimate) الذي ساد في شرق المتوسط خلال آلاف السنيين الماضية وذلك عن طريق دراسة خطوط الشواطيء القديمة والرسوبيات.

والبحر الميت يقع ضمن حوض (Graben)ضيق يمتد من البحر الأحمر جنوباً إلى لبنان شمالاً لمسافة 600كم تقريبا، شكل (6).



شكل (6)

امتداد حفرة الانهدام

المصدر :(Neev and Emery 1967)

وعلى طول محور الحوض تتعاقب المساحات المائية وكتل اليابسة وتتمثل المساحات المائية بخليج العقبة والبحر الميت وبحيرة طبريا وبحيرة الحوله التي جففت نهائياً الآن. والبحر الميت عبارة عن بحيرة عديمة التصريف يبرز من الضفة الشرقية إلى داخل البحر الميت نتوء ارضي يدعى شبه جزيرة اللسان. وكان هذا النتوء إلى فترة قريبة جداً يقسم البحر الميت إلى جزءين، جنوبي عبارة عن بحيرة ضحلة لا يتجاوز عمقها 6 أمتار، وشمالي عميق يبلغ عمقه 400م، كما وتوجد آثار أودية نهرية غارقة في قاع البحر الميت وكذلك آثار الشواطيء القديمة مما يدل على أن مستوى المياه

في البحر كان خلال الفترات السابقة اخفض أو أعلى من مستواه الحالي.(Neev and Emery 1967).

وتشير الدراسات ان البحر الميت خلال تاريخه الطويل جف نهائياً مرة واحدة على أقل تقدير (ماركوف،1969)، وعندئذ شقت الأنهار طريقها عبر قاع البحر الجاف وأتسع مرة أخرى في عصر بحيرة اللسان حتى اتصلت مياهه بمياه بحيرة طبرية وكانت هذه البحيرة في تلك الفترة عبارة عن بحيرة كبيرة واسعة اكبر حجماً ومساحة من البحر الميت الحالي (Neev and Emery 1967).

وفي نهاية عصر اللسان أي فترة تكون بحيرة اللسان بدأت الحركات التكوتنية تفصل بين أجزاء البحيرة وارتفعت شبه جزيرة اللسان وتكون الجزء الشمالي والجنوبي للبحر الميت،لذلك نجد أن مياه القسم الشمالي تتكون من طبقتين عليا وسفلى أكثر كثافة وملوحة(ماركوف 1969). أما الآن فالبحر الميت لا يحتوي إلا طبقة واحدة ممزوجة(Steinhorn,1991).

ويمكننا أن نوجز المراحل التي مر بها البحر الميت في الماضي كما يلي :

المرحلة الأولى: في هذه المرحلة لم يكن البحر الميت موجوداً وكانت مياه المحيط الهندي تتدفق شمالاً من البحر الأحمر وخليج العقبة حتى غطت جميع أجزاء حفرة الانهدام بما فيها منخفض البحر الميت (Neev and Emery1967).

المرحلة الثانية: تكونت الكتلة اليابسة الواقعة بين خليج العقبة والبحر الميت في وادي عربة وذلك في أواسط البليستوسين(Neev and Emery,1967). وأدى تكونها إلى انقطاع دخول المياه المحيطية من خليج العقبة إلى البحر الميت وعندئذ جف البحر الميت نهائياً (ماركوف 1969).

المرحلة الثالثة: تعد هذه المرحلة من أهم المراحل وضوحاً بالنسبة لتاريخ البحر الميت فعلى طول مسافة 220كم انفصلت بحيرة اللسان عن البحر الميت وملأتها المياه وكانت مياهها أقل ملوحة من البحر الميت الحالي(عابد1985).

لذلك ترسبت المواد الكربونية والجبص في قاع البحيرة مكونة طبقات سميكة. وقد وصلت إلى أعلى مستوى لها قبل حوالي 23 ألف سنة(عابد 1985).

المرحلة الرابعة: أصبح المناخ أكثر جفافاً الأمر الذي أدى إلى انخفاض مستوى المياه في بحيرة اللسان بمقدار 260م(Neev and Emery1967)، وتقلصت مساحة البحر الميت حيث جف حوضه الجنوبي كاملاً ودليل ذلك أن هناك طريقاً رومانياً قديماً تربط الجزء الشمالي مروراً ببحيرة اللسان إلى القسم الشمالي(Neev and Emery1967). والدليل الآخر أن الحوض الجنوبي لم يظهر في خريطة مادبا التي رسمت في القرن السادس الميلادي(عابد1985).

المرحلة الخامسة: ارتفاع مستوى المياه في البحر الميت قبل 1500 سنة الماضية بمقدار 40 متراً ويعود ذلك لتغير المناخ الجاف إلى مناخ مطير نسبياً (عابد 1985).أما بعد عام 1964 فقد بدأ مستوى المياه ينخفض مرة أخرى حتى يومنا الحاضر وبمقدار 60–70سم (Oroud,2001). حتى جف جزءه الجنوبي كاملاً الآن. وشكل(7) يبين التغيرات المناخية في 100 ألف سنة الماضية للبحر الميت.

السنوات قبل الآن	فترة	الرسوبات الصخرية	نسبة المياه المطلية / للمياه المتبخرة منخفض ← ← عالي	التفسيرات المناخية	طريقة التأريخ	السنوات قبل الآن
١٠,٠٠٠	هولوسين	البحر الميت		إجمالاً جاف تتخلله بعض الفترات الرطبة	كربون – ١٤	١٠,٠٠٠

شكل (7)

التغيرات المناخية في 100 ألف سنة الماضية للبحر الميت

المصدر :(Neev and Emery 1967)

أما بالنسبة للتغيرات الحديثة التي طرأت على مستوى سطح مياه البحر الميت فيوضحها الجدول(2).

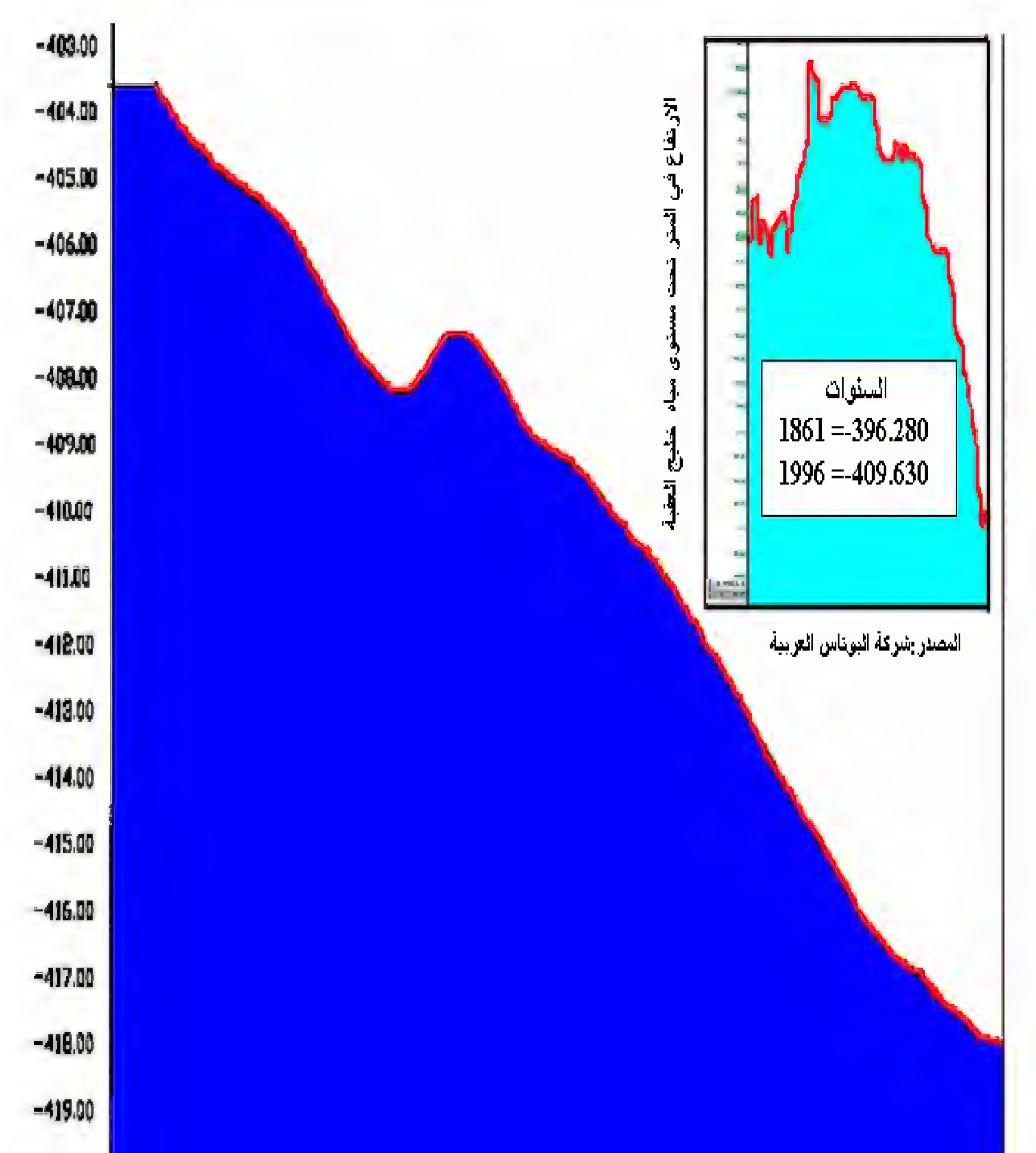
جدول (2)

مستوى سطح مياه البحر الميت خلال الفترة 1865– تموز 2005.

السنة	المنسوب دون مستوى البحار الأخرى	السنة	المنسوب دون مستوى البحار الأخرى
1865	393.8	1991	408.49
1879	395.7	1992	407.3
1910	390.6	1993	407.76
1929	388.8	1994	408.46
1938	392.6	1995	409.3
1958	395.000	1996	410.1
1963	397.000	1997	410.85
1969	398.000	1998	411.91
1977	402.000	1999	412.98
1982	400.5	2000	414.18
1985	403.6	2001	415.24
1986	404.5	2002	416.31
1987	405.1	2003	416.890
1988	405.6	2004	417.545
1989	406.686	2005 تموز	418.020
1990	407.67		

المصدر :(عدة مؤلفين وشركة البوتاس العربية)

ويلاحظ من الجدول السابق أن مستوى البحر ازداد في النصف الثاني من القرن التاسع عشر حتى الثلاثينات من القرن العشرين ثم بدأ منسوبه بالتأرجح حتى عام 1960 تقريباً.وبعد هذا التاريخ بدأ منسوبة بالانخفاض المستمر(أنظر شكل 8). ليصل في الوقت الراهن بحدود 418م تحت مستوى سطح البحر وقد كان معدل هبوط سطح البحر الميت خلال الفترة الممتدة من 1960-2005 حوالي نصف متر سنوياً وذلك نتيجة أسباب طبيعية وبشرية ساهمت في الوصول إلى هذا الوضع.



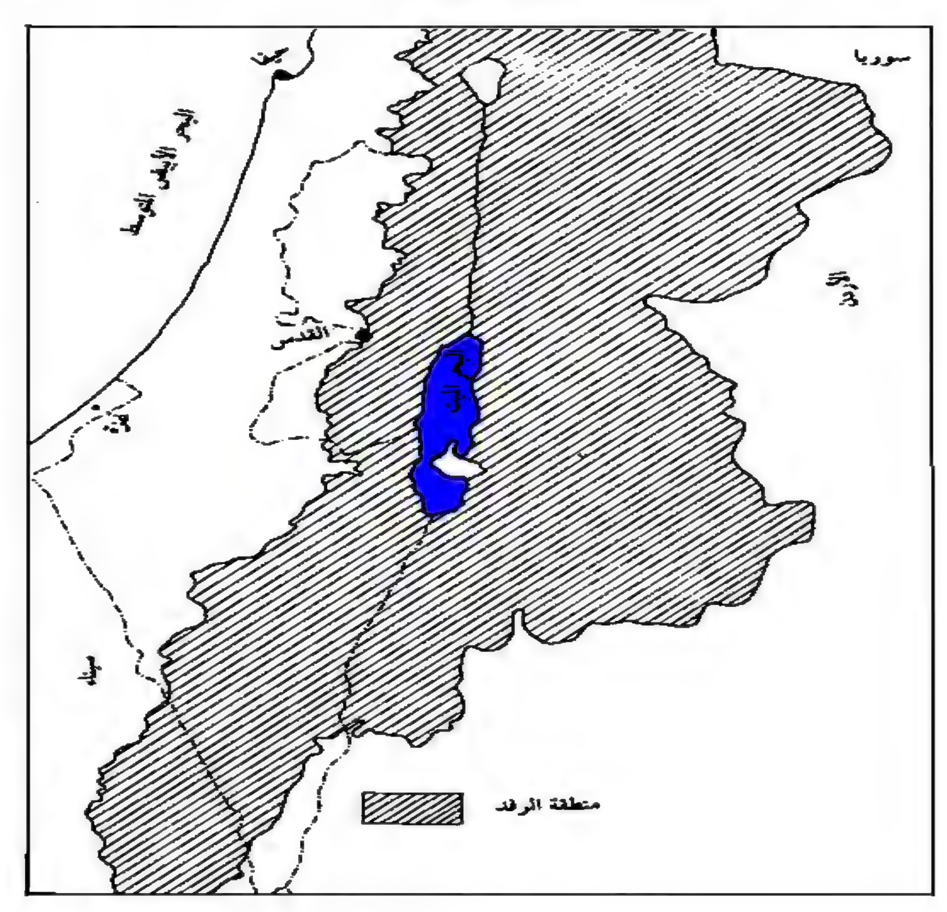
شكل (8)

تذبذب مستوى سطح الماء للبحر الميت خلال الفترة من 1985 ولغاية تموز 2005.

المصدر: (عدة مؤلفين وشركة البوتاس العربية)

حيث انخفض مستوى سطح الماء خلال تلك الفترة حوالي26م. وللتعرف أيضاً على مستويات الانخفاض والتذبذب لسطح مياه البحر الميت لابد من معرفة كمية المياه التي تصل إلى البحر الميت من نهر الأردن ومن الأودية الأخرى ومعرفة كمية المياه المتبخره منه أيضاً.

تبلـــغ مســـاحة الرفـــد المـــائي* للبحـــر الميـــت حـــوالي 40.000كـــم2 (Neev and Emery1987). والشكل(9) يبين المناطق التي ترفد البحر الميت بالمياه حيث تشترك خمس دول في منطقة الرفد هي لبنان وسوريا والأردن وفلسطين ومصر.



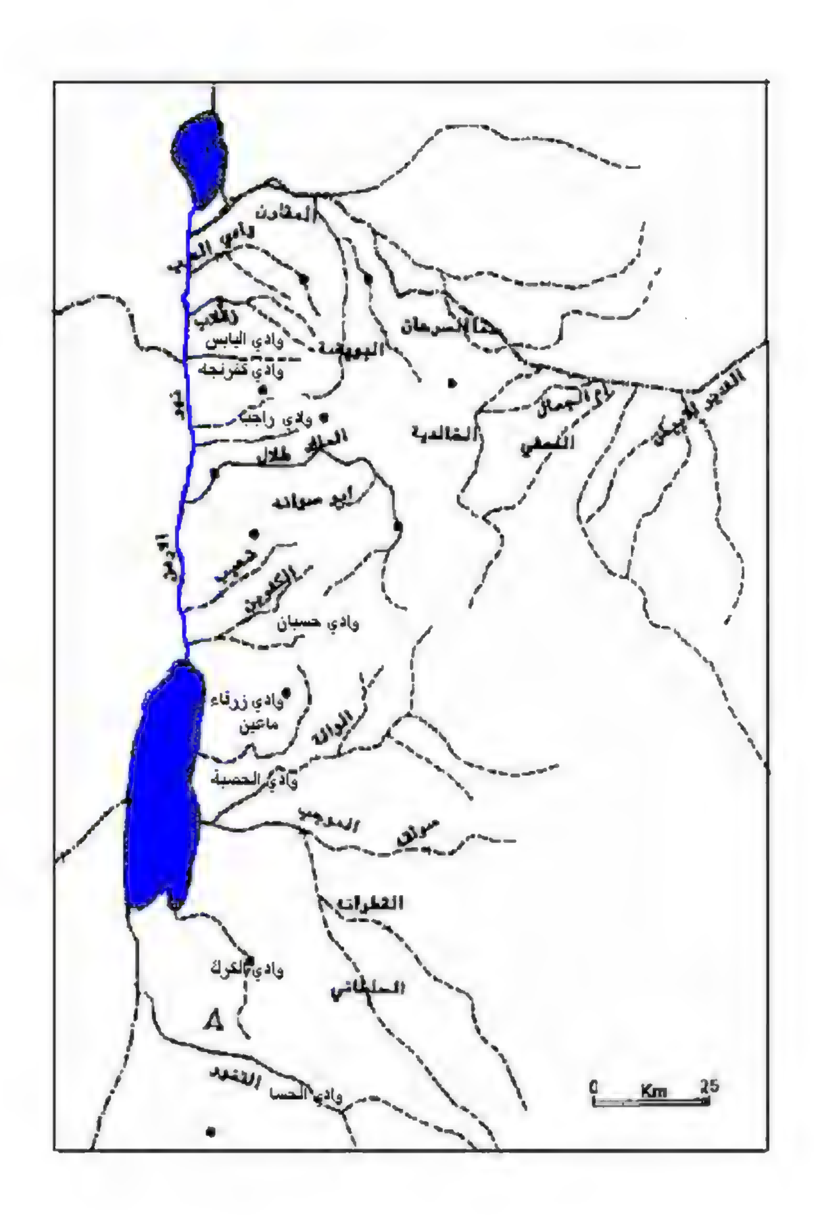
شكل (9)

المناطق التي ترفد البحر الميت بالمياه.

المصدر :(عابد1985).

* منطقة الرفد المائي:تلك المساحة من الأرض التي ترفد بامطارها وانهارها واوديتها وينابيعها البحر الميت.(عابد،1985).

ولكن يبقى نهر الأردن هو أهم مصادر الرفد المائي للبحر الميت. والشكل(10) يبين الأودية التي تصب في قناة الغور الشرقية والأودية التي تصب مباشرة في البحر الميت على الجانب الشرقي والجنوبي له.



شكل (10)

الأودية التي تقع إلى شرق وجنوب البحر الميت.

المصدر :(وزارة المياه والري).

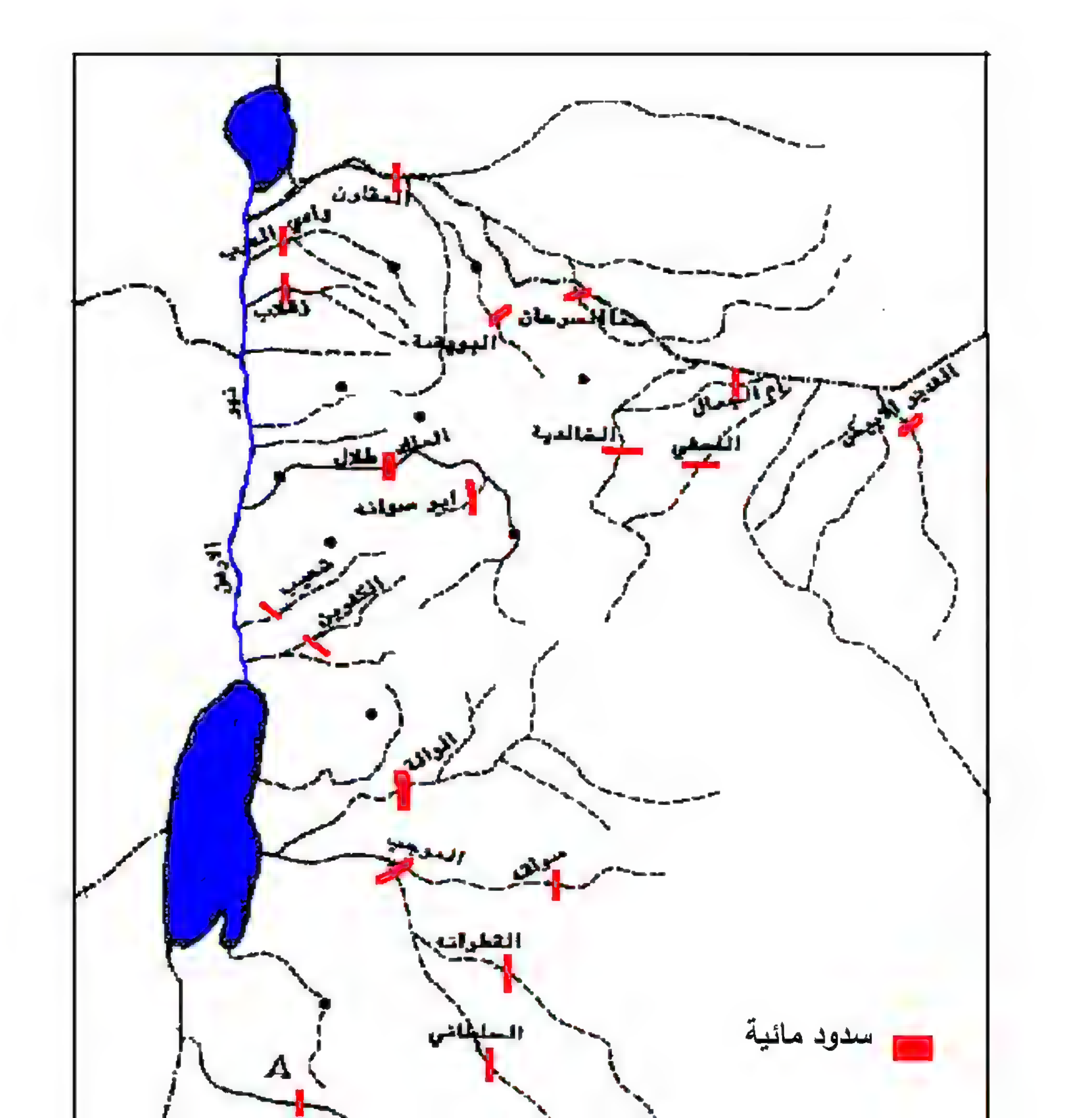
إذن يمكننا تقسيم مصادر الرفد المائي للبحر الميت إلى مصدرين هما:

أ-نهر الأردن: يتكون نهر الأردن من انضمام نهرالدان والحاصباني وبانياس. ثم يصب في بحيرة طبرية ثم يخرج منها ليتم رفده أيضاً من قبل نهر اليرموك ونهر الزرقاء ووادي العرب ووادي شعيب وحسبان وغيرها من الأودية التي تصب في قناة الغور الشرقية. ويستمر النهر بالجريان حتى يصب في الطرف الشمالي للبحر الميت، وفي الثلاثينيات والأربعينيات وأوائل الخمسينات من هذا القرن، قدر معدل جريان نهر الأردن حوالي 1200مليون متر مكعب سنوياً(Bentor,1961).

ب- مجموعة الأودية التي تصب مباشرة في البحر الميت التي تقع شرق وجنوب وغرب البحر الميت أهمها: وادي زرقاء ماعين وعيون الزارة والموجب وابن حماد والكرك وعيسال ووادي الحسا ووادي فينان ووادي عين الجدي ووادي دراجة ووادي عين فشخه بالإضافة إلى الأودية الصغيرة الأخرى. وتقدر كمية المياه التي تصل للبحر الميت عبر تلك الأودية بحوالي 400 مليون متر مكعب سنوياً(Bentor,1961).

وتشير الدراسات أنه في بداية الستينات والسبعينات من هذا القرن قد انخفضت كميات المياه التي تصل إلى البحر الميت ولأسباب عديدة أهمها:

1- إقامة السدود على مجاري العديد من الأودية التي تصب في نهر الأردن أو تصب مباشرة في البحر الميت وذلك لاستخدام مياهها للأغراض الزراعية الشكل(11) يبين مواقع تلك السدود.



شكل (11)

السدود المقامة على الأودية شرق وجنوب البحر الميت

المصدر :(وزارة المياه والرى)

2- قيام إسرائيل عام 1964 بتحويل ما يقارب 500 مليون متر مكعب من مياه نهر الأردن، حيث تشكل هذه الكمية نصف المياه الواردة للبحر الميت تقريباً.

3-ضخ مياه البحر الميت لاستخدامها في الصناعات التعدينية كشركة البوتاس العربية وشركة البوتاس الإسرائيلية وغيرها من الصناعات الأخرى. حيث بلغت كمية المياه التي يتم ضخها من مياه البحر الميت إلى شركة البوتاس حوالي200مليون متر مكعب سنوياً(Orourd,2001b) والشكل(12) يوضح موقع محطة الضخ لمياه البحر الميت التابعة لشركة البوتاس ونضوب الماء من حولها.



شكل(12)

أثر ضخ مياه البحر الميت على انحسار شواطئه ونقصان مستوى المياه فيه.

4- يعتقد أن الحركات التكتونية لها انعكاسات على مستوى الماء للبحر الميت، حيث أن الحوض الجنوبي قد جف لفترات طويلة، وبعد هبوط المناطق التي تفصله عن الحوض الشمالي عاد وامتلأ بالماء، وبالتالي زيادة كميات التبخر بسبب زيادة سطح البحر واتساع طاقته التبخيرية نتيجة ذلك التوسع (Orni and Efrat,1966).

ولتوضيح ما سبق والتعرف أيضاً على أهم المتغيرات التي طرأت على البحر الميت فإن الجدول(3) يقارن بين تلك المتغيرات في أربعة فترات حديثة.

جدول (3)

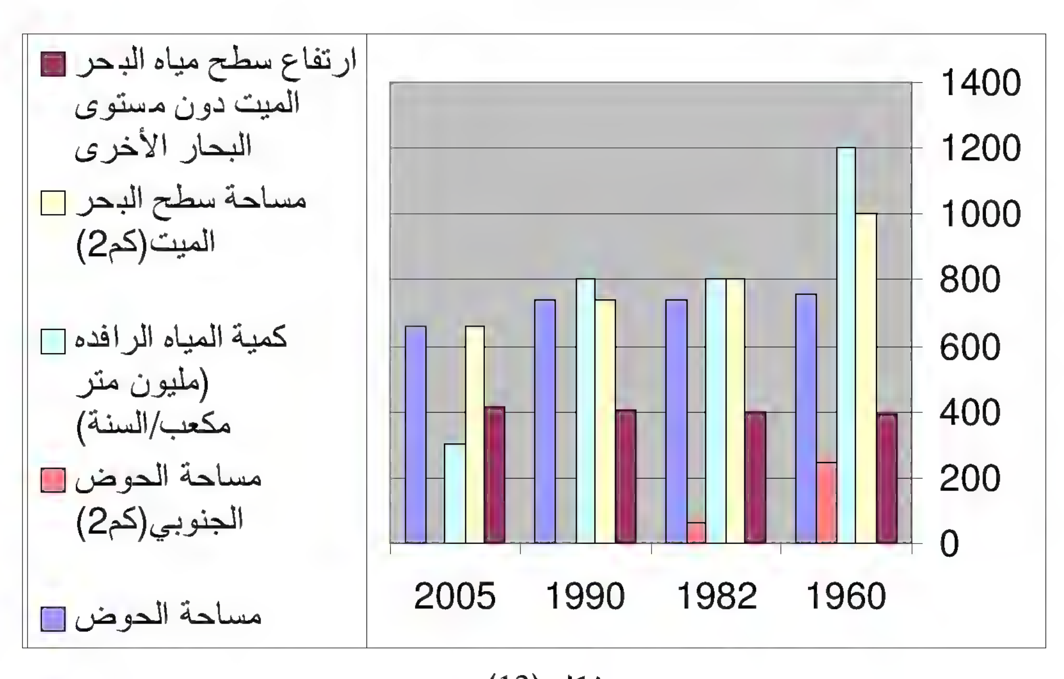
أهم المتغيرات التي طرأت على البحر الميت خلال أربعة فترات مختلفة.

السنة/المتغير	ارتفاع سطح مياه البحر الميت دون مستوى البحار الأخرى	مساحة سطح البحر الميت(كم^2)	كمية المياه الرافده (مليون متر مكعب/السنة)	مساحة الحوض الشمالي(كم^2)	مساحة الحوض الجنوبي(كم^2)
قبل عام1960	395	1000	1200	757	243
1982	400.5	800	800	740	60
1990	405	740	800	740	جف تماماً
2005	418	660	300	660	صفر

المصدر : مأخوذ من عدة مؤلفين:(شركة البوتاس العربية،2005)

(عابد1985 ,Neev and Emery1967,Bentor1961,Orni and Efrat1966)

يلاحظ من الجدول السابق الانخفاض المستمر لمستوى مياه البحر الميت وكذلك تقلص مساحته وتناقص كميات المياه التي ترفده شكل (13). ويوضح شكل (14) تغير مساحة البحر الميت خلال الثلاثين سنة الماضية.



شكل (13)

أهم المتغيرات التي طرأت على البحر الميت خلال أربعة فترات من تاريخه.

2005 2000 1992 1972

شكل(14)

تغير مساحة البحر الميت خلال الأعوام 1972،1992،2000،2005.

إن العديد من الدراسات والأبحاث في الوقت الحاضر تبين حدوث تغيرات هامة في الصفات الفيزيائية والكيميائية كالملوحة والكثافة والتطبق لمياه الحوض الشمالي،حيث زادت الملوحة والكثافة،أما تطبق المياه فقد كان سابقاً يوجد ثلاث طبقات مائية،طبقة عليا تمتد حتى40م وطبقة متوسطة تصل الى150م وعميقة تصل إلى قاع البحر الميت، وفي الوقت الحاضر قد تلاشى التطبق نتيجة انخفاض مستوى مياه البحر وتقلص مساحته وازدياد كثافته التي جعلت من مياهه متجانسة من حيث الخصائص الكيماوية والفيزيائية (Steinhorn,1991).

ويمكننا أن نجمل وضع البحر الميت في الوقت الحاضر، وبناءاً على ما سبق ذكره بأنه يمر بمرحلة حرجة من تاريخه، فإن لم يزود بكميات من المياه لرفده فإن مياهه العميقة سوف تصبح كمياهه السطحية وسيبدأ بترسيب ملح الطعام والجبص على حد سواء.أما الآفاق المستقبلية للبحر الميت فتكاد تكون أكثر تعقيداً من وضعه في الوقت الحاضر،حيث سيتوالى الانخفاض لمستوى مياهه الذي يؤدي إلى جعل خصائص مياهه الضحلة مشابهةً لخصائص مياهه العميقة، مما يفقده تفرده بالخصائص الفيزيائية والكيميائية النادرة. بالإضافة إلى أن كميات التبخر سوف تنخفض نتيجة تقلص مساحة سطحه وزيادة نسبة الأملاح في مياهه. وقد ينشأ لانحسار مياه البحر الميت بعض الظواهر الجيومورفولوجية كالانخسافات (Subsidence) وحفر الإذابة (Sinkholes) كما حدث منذ عام1991 وللآن من تتابع ظهور لحفر الإذابة التي أصبحت تهدد المشاريع الصناعية والسياحية والسكان وممتلكاتهم في المناطق المحاذية للبحر الميت. ولتفادي حدوث النتائج السابقة فان البحر الميت بحاجة إلى عملية إنقاذ من خلال زيادة كميات المياه الواردة إليه. كما هو مقترح إنشاء قناة تربط بين البحر الميت والبحر الأحمر لتزويد البحر الميت بكمية من المياه تعادل1200 مليون متر مكعب. وفي دراسات أخرى قدرت الكمية بحوالي 1600 مليون متر مكعب (جبور 1981)، وبذلك سيتم تعويض البحر الميت عما يفقده من المياه التي ترفده والتي فقدها بعد تحويل إسرائيل ما يقارب 500 مليون متر مكعب من مياه نهر الأردن إلى النقب، وكذلك السدود التي أنشأت على الأودية الشرقية للبحر الميت. ولكن عملية إنقاذ بهذه الطريقة سيترتب عليها نتائج سلبية على الأراضي والمياه الجوفية على الجانب الأردني، فإذا أصبح ارتفاع سطح البحر الميت372 دون سطح البحار الأخرى كما هو متوقع بعد إنشاء تلك القناة (جبور 1981)، فهذا يعني غمر مناطق شاسعة وزراعية في غور الصافي وغور حديثة وغور المزرعة، بالإضافة إلى المناطق التابعة لشركة البوتاس العربية والتأثيرات السلبية على مصادر المياه الجوفية في الأردن حيث سيتم إحلال$6.1*10^9$ متر مكعب من مخزون المياه الجوفية العذبة بمياه البحر الميت المالحة (سلامه1985).

مما سبق نلاحظ أن البحر الميت مستمر بانخفاضه والذي سيترتب علية آثار بيئية واقتصادية هامة ومنها ظهور حفر الإذابة التي سيتوالى ظهورها وازدياد خطرها مع مرور الوقت.

الفصل الرابع

حفر الإذابة في منطقة الدراسة

1.4 لمحة تاريخية

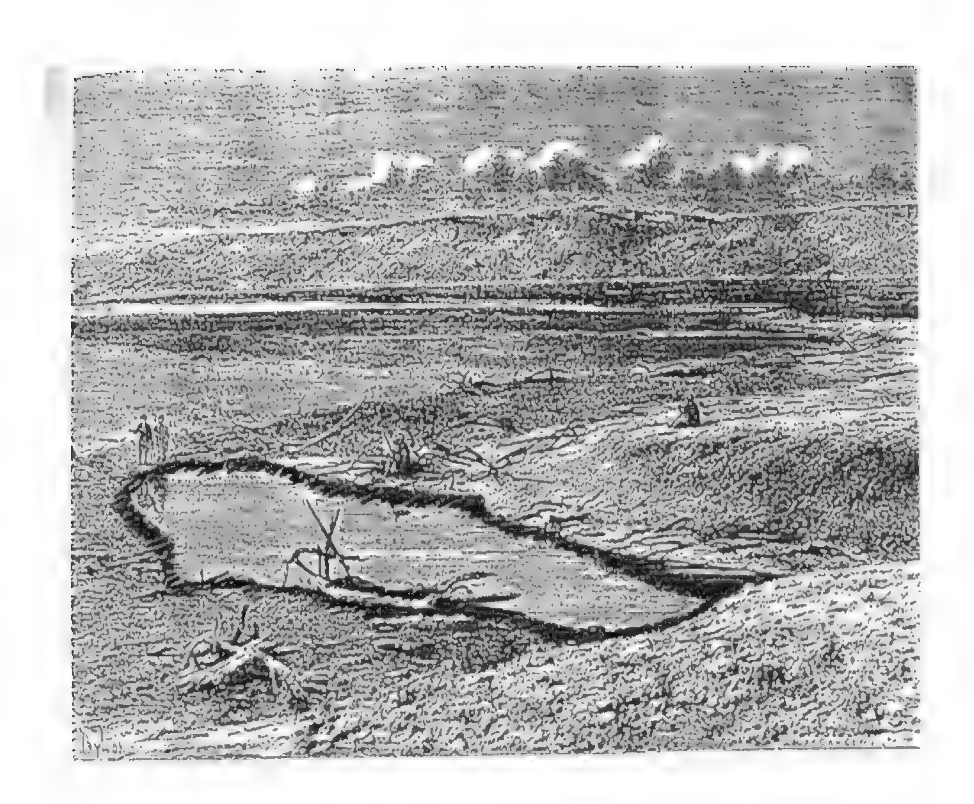
تعتبر ظاهرة حفر الإذابة أحد الأشكال والظواهر الجيومورفولوجية القديمة،التي تظهر في كثير من أنحاء العالم في المناطق التي تتكون صخورها من الحجر الجيري والدولومايت والصخور الملحية والترسبات الكيميائية بشكل عام(Thornbury,1954).

ومن اشهر المناطق التي تضم أشكالاً جيومورفولوجية فريدة منها، حفر الإذابة هو إقليم الكارست(Karst) في يوغسلافيا،وقد شاع استخدام هذا التعبير في الدراسات الجيومورفولوجية،واصبح يطلق على اي منطقة أو إقليم توجد فيه إشكالاً مشابهة لإقليم الكارست اليوغسلافي.وفي العالم مناطق كثيرة تشتهر بتلك الإشكال، مثل هضبة كوسيه في جنوب فرنسا ومناطق شبه جزيرة الموره في اليونان، وشمال شبه جزيرة يوكوتان بأمريكا الوسطي، وأواسط شبه جزيرة فلوريدا في الولايات المتحدة الأمريكية، وفي البلاد العربية توجد على سبيل المثال في غرب لبنان في مناطق عديدة.

وعلى الرغم من قدم ظاهرة حفر الإذابة كغيرها من الظواهر الكارستية الأخرى، إلا أنها لم تلقى الاهتمام الكبير من الدارسين والباحثين،إلا بعد الحرب العالمية الثانية لظهور تلك الحفر في الأنفاق والمناجم والسدود والمناطق المأهولة، وأصبحت تشكل خطراً على المنشآت والناس وممتلكاتهم. ومن الأمثلة على تلك الحوادث،ما وقع لمنجم لاستخراج الذهب إلى الجنوب من مدينة جوهانسبرج بين عامي1962و1966حيث ابتلعت إحدى الحفر الكبيرة منطقة الكسارات والطحن في ذلك المنجم، وأدى ذلك إلى اختفاء ذلك القسم من المنجم وفقدان 27شخصاً في تلك الحادثة(Legget and Hathaway, 1988).

أما حفر الإذابة في المناطق القريبة للبحر الميت فهي أيضاً قديمة ودليل ذلك الصورة التي التقطها العالم الأمريكي لنش عام 1849 لإحدى حفر الإذابة في الجزء الشمالي للبحر الميت(Lynch,1849) شكل(15). وكذلك حفر الإذابة القديمة في شبه جزيرة اللسان والتي يعود عمرها تقريباً لنفس عمر بحيرة اللسان قبل أكثر من 23 ألف سنة من الآن(عابد،1985).

لم تحضى حفر الإذابة في منطقة البحر الميت بالاهتمام من قبل الباحثين والدارسين قبل عام 1993 وهو العام الذي ظهرت فيه العديد من الحفر نتيجة للأمطار والثلوج الكبيرة التي هطلت على المنطقة عامي1991 و1992، ففي 22 آذار عام 1991 حدث فيضان كبير في مدة لا تتجاوز 24 ساعة، حيث كانت كمية المياه المتدفقة حوالي 210 مليون متر مكعب خلال 24 ساعة، عبر وادي ابن حماد ووادي الكرك ووادي الحسا ووادي نميرة والتي تصب جميعها مباشرة في البحر الميت، حيث ارتفع سطح ماء للبحر الميت0.2م خلال تلك الفترة القصيرة (El-Isa et al.,1995). وقد ساعدت الكميات الهائلة من المياه العذبة على إذابة الكثير من الطبقات الملحية، وخلفت عمليات الإذابة وراءها فراغات وتجاويف تحت السطح ما لبثت أن تطورت إلى حفر إذابة فيما بعد.



شكل (15)

إحدى حفر الإذابة القديمة في النهاية الشمالية للبحر الميت عام 1849 كما حصل عليها لنش.

المصدر: (Lynch, 1849)

2.4 أسباب تكون حفر الإذابة في منطقة الدراسة

من خلال الدراسة الميدانية المكثفة تبين للباحث أن هناك عدة أسباب لنشوء وتكون تلك الحفر التي قد يرتبط بعضها بانخفاض مستوى الماء لسطح البحر الميت. ومن تلك الأسباب انخفاض مستوى الماء العذب (Water Table) تبعاً لانخفاض المياه لسطح البحر الميت، وعمليات الضخ المكثفة من الآبار العديدة سواء ما يستخدم منها لغايات الشرب والري والعائدة لسلطة المياه وشركة البوتاس العربية أو الآبار الخاصة بالمزارعين، بالإضافة إلى السدود التحويلية التي أقيمت من قبل سلطة وادي الأردن على الينابيع الطبيعية (Natural Springs) لري المزروعات،أو السدود التي أقيمت على الأودية الشرقية للبحر الميت بالإضافة إلى قلة الأمطار.

ومن الأسباب أيضاً وجود الممرات المائية تحت السطحية وتسرب الماء من أنابيب المياه المدفونة على عمق2.5 متر التي تستخدم لري المزروعات.

فلو كان انحسار مياه البحر الميت وتراجع شواطئه هو السبب الوحيد لتكون حفر الإذابة لوجدنا الدلائل والشواهد الميدانية التالية:

أولاً: عمليات هبوط واسعة ومتصلة للمناطق التي تنحسر عنها مياه البحر الميت والمتجانسة من حيث نوع الرواسب، وليس على شكل حفر متفرقة هنا وهناك ولظهرت أيضاً تلك الحفر على امتداد الشواطيء القديمة (Palaeoshore Lines) للبحر الميت.

ثانياً: ضحالة شواطيء البحر الميت تجعل الأملاح وخاصةً ملح الهالايت(Halite) وسلفايت (Sylvite) يترسب مباشرةً وسط المياه شكل(16). ويمكن القول أن

تراجع مياه البحر الميت تؤدي إلى تفريغ بطيء للمحلول الموجود بين مسامات التربة، وعند وصول مياه تحت مشبعة بالنسبة للأملاح الموجودة ضمن التربة تتم إذابة لهذه الأملاح.علماً أن الفراغات يمكن أن تنشأ بواسطة عمليات الإذابة والغسل للطبقات القابلة للذوبان والحبيبات الناعمة من الطين بفعل المياه العذبة وعلى أعماق مختلفة في المناطق التي تتركز فيها طبقات الملح والرواسب الناعمة، حيث أن الملح يذاب والرواسب الناعمة يقل حجمها وبالتالي تتكون الفراغات والتجاويف. أضف لذلك يحدث إذابة متفاوتة (Differential Dissolution) بين المناطق المختلفة اعتماداً بالدرجة الأولى على وصول المياه العذبة أو التحت المشبعة للطبقات الملحية تحت السطحية. ومما لاشك فيه أن ظهور حفر الإذابة بنمط طولي (Linear Pattern) يشير إلى أن آلية طولية مثل وجود الصدوع تحت السطحية أو المياه الجارية تحت السطحية دور في عملية تكون هذه الحفر .إذ أن وجود التشققات والصدوع تحت السطحية تشجع على تكون مجاري مائية تحت سطحية مما يسمح بتكون حفر إذابة على طول هذه المجاري ويظهر شكل(17) هذا النمط الطولي ويشير الشكل (18) إلى أن هناك توافقاً بين نمو النباتات التي تتحمل الملوحة وحفر الإذابة.



شكل(16).

ترسب معدن الهالايت والسلفايت مباشرةً على شواطىء البحر الميت



شكل(17)

النمط الطولي لنمو النباتات على امتداد الممر المائي تحت سطحي.



شكل(18)

الصدوع المدفونة التي قد تشجع على تكون مجاري مائية تحت سطحية، وبالتالي تكون الفراغات بفعال الاذابة التى تتطور الى حفر اذابة لاحقا

إذ يمكن ملاحظة النمط الطولي للنمو النباتي(نبات الطرفا) في هذه البيئة قاسية المناخ، ومن الملاحظ أن النباتات لا تنمو فوق السطوح التي تنعدم فيها المياه. إن نمو النباتات الطولي يعزز فكرة تكون تلك الحفر فوق مجاري مائية تحت سطحية.

وعلى الرغم من أن الآليات سابقة الذكر هامة في تكون حفر الإذابة، إلا انه لا يمكن استبعاد آليات أخرى قد تكون مسؤولة عن ظهور هذه الحفر في منطقة الدراسة ومن هذه الأدلة:

1- إن ظهور حفر الإذابة لا يقتصر فقط في المناطق القريبة من البحر الميت، لكن ظهرت حفر في مناطق بعيدة عن البحر الميت. فقد ظهر حفرة إذابة في غور الصافي الذي يبعد حوالي19 كم عن شواطيء البحر الميت الجنوبية في حوض رقم(40) وفي وسط شارع فرعي بين الوحدة الزراعية رقم (15) والوحدة الزراعية رقم(16).

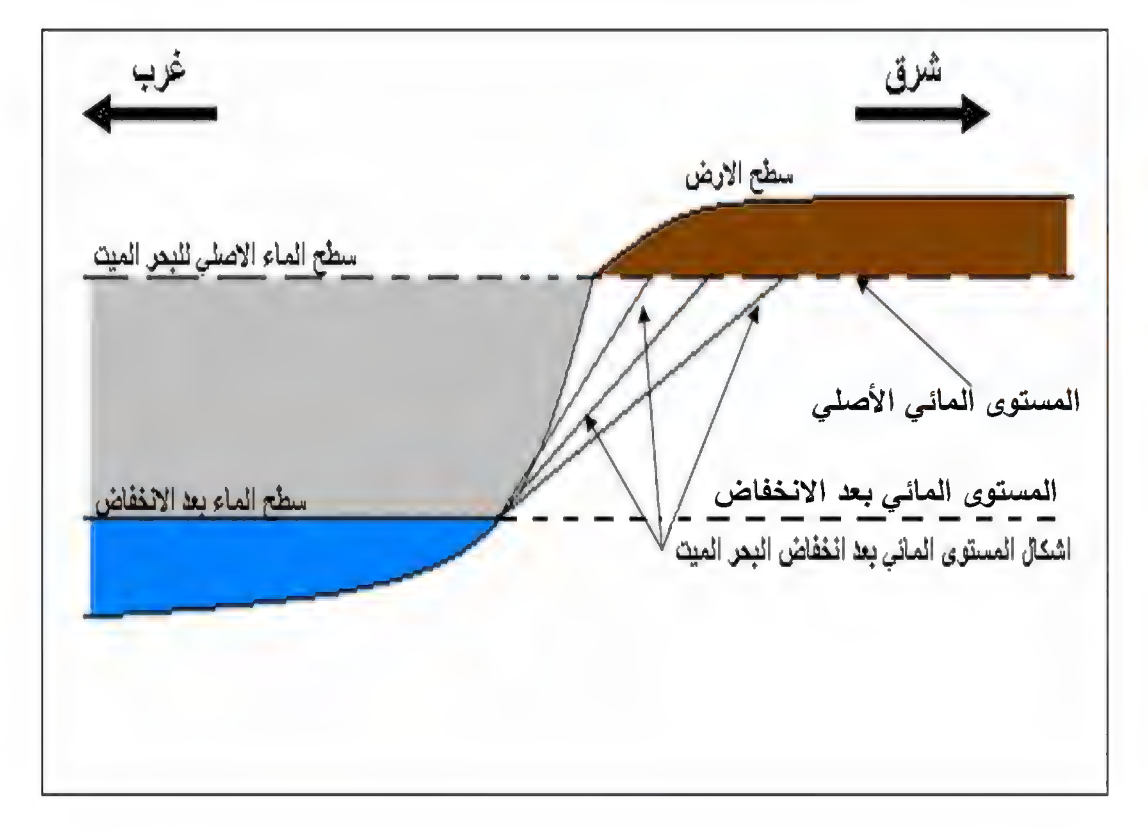
2- ظهور حفر الإذابة في المناطق التي انحسرت عنها المياه وظهورها كذلك داخل مياه البحر الميت شكل (19).إن ظهور هذه الحفر ضمن مياه البحر الميت لا يمكن أن تفسره الآليات سابقة الذكر. إن الآلية الأكثر منطقية لظهور هذه الحفر الغائرة وسط مياه البحر الميت قد يكون ناتج عن حركات هبوط للمستوى المائي أو بسبب الصدوع المدفونة أو الممرات المائية تحت السطحية التي تصب مباشرةً في البحر الميت.



شكل (19)
إحدى حفر الإذابة داخل مياه البحر الميت

يتضح مما سبق أن هناك أسباباً أخرى لتكون ونشوء حفر الإذابة في منطقة الدراسة التي سوف نناقشها الآن. ويعد انخفاض المستوى المائي العذب (Water Table) وارتباطه بانخفاض مستوى المياه في البحر الميت أحد تلك الأسباب والذي

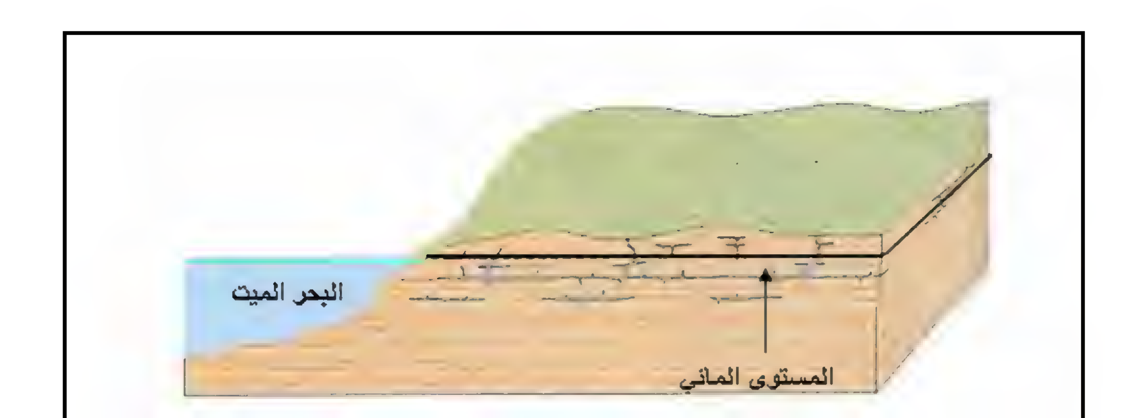
يتغير تبعاً لتغير مستوى الماء في البحر سواءاً ارتفاعاً أو انخفاضاً والشكل(20) يوضح ذلك الوضع.



شكل (20)

العلاقة بين انخفاض مستوى المياه في البحر الميت والمستوى المائي العذب.

ويتبين من الشكل أن المستوى المائي (Water Table) ينخفض تبعاً لانخفاض مياه البحر الميت، وبما أن الميل الهيدروليكي في نفس الاتجاه (أي باتجاه البحر الميت من الشرق إلى الغرب) سينتج عن ذلك الانخفاض زيادة في سرعة جريان المياه في الممرات المائية الجوفية التي تصب في البحر الميت، وبالتالي زيادة طاقتها الحركية (Kinetic Energy) التي تؤدي إلى سرعة الإذابة للبلورات والطبقات الملحية المتصلبة والموجودة داخل فراغات الرسوبيات الحديثة في المناطق المحاذية للبحر الميت. بالإضافة إلى أن انخفاض المستوى المائي يعني ترك فراغات كانت مملوءةً أصلاًَ بالماء شكل(21).



شكل(21)

أثر إنخفاض المستوى المائي على تكون الفراغات والتجاويف وتطورها الى حفر إذابة.

ولتوضيح العلاقة بين سطح الاتصال (Interface) بين المياه العذبة والمالحة في منطقة الدراسة التي لها أهمية كبيرة في توضيح ما قد يحدث نتيجة انخفاض المستوى المائي قرب شاطيء البحر الميت فقد وجد (Ghyben and Herzberg, 1888) وحسب قانون (Floating Objects) أن المياه المالحة تقع تحت المياه العذبة بحوالي40 مرة من ارتفاع المستوى المائي فوق مستوى سطح البحر، وهذا الوضع بسبب وجود التوازن الهيدروستاتيكي (Hydrostatic Balance) بين مائعين مختلفي الكثافة شكل(22).

فإذا كان الضغط على الأنبوبين متساوي

فإن: $\rho_s g h_s = \rho_f g (z + h_f)$

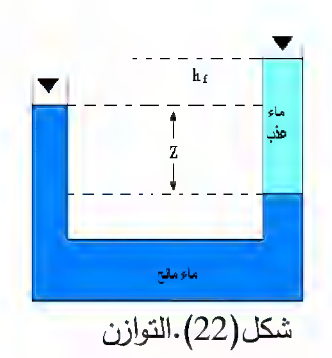
حيث أن:

□ s : كثافة الماء المالح

□ f :كثافة الماء العذب

g : تسارع الجاذبية الأرضية

Z, hf: كما في الشكل فإن:



شكل(22).التوازن الهيدروستاتيكي بين المياه العذبة والمياه المالحة.(Todd, 1980)

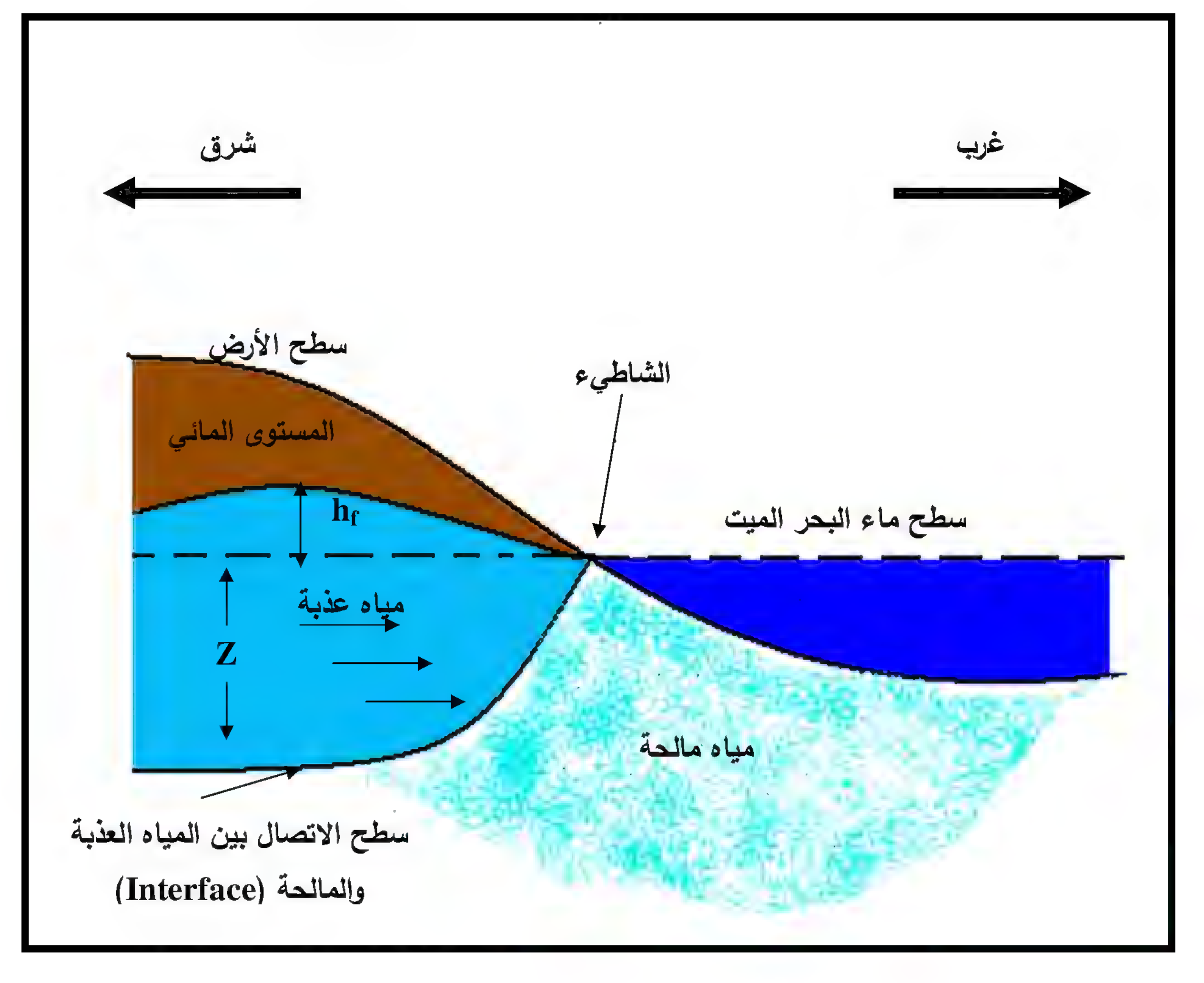
$$Z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f$$

فإذا كانت $\rho_f = 1.000 g/cm^3, \rho_s = 1.025 g/cm^3$

فإن: $Z = 40hf$

أي أن مستوى مياه البحر المالحة تقع تحت المستوى المائي العذب40 مرة .

ولترجمة هذا الوضع على المناطق الساحلية كما في منطقة الدراسة شكل(23).
معتبرين أن كثافة مياه البحر الميت تبلغ $1.255 g/cm^3$ في حين أن كثافة البحار الأخرى $1.025\ g/cm^3$.



شكل(23)

التوازن الهيدروستاتيكي للمياه العذبة والمالحة على شواطيء البحر الميت

وللوصول إلى حالة اتزان هيدروستاتيكي للعمود (Z+hf) فلا بد من تساوي القوة المؤثرة علية إلى أسفل وهي عبارة عن وزنه مع القوة العمودية إلى أعلى وهي عبارة عن ضغط هيدروستاتيكي ناتج عن ارتفاع المياه المالحة(Z).

وبتطبيق معادلة (Ghyben and Herzberg) على مياه البحر الميت والتي تبلغ كثافة مياهه بحدود $1.255\ g/cm^3$ فإن:

$$Z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f$$

$$\frac{1.000 g/cm^3}{1.255 g/cm^3 - 1.000 g/cm^3} h_f$$

$$\frac{z}{h_f} = 4.44 \Rightarrow Z = 4.44h_f$$

وبالمقارنة بما سبق يتبين أن مستوى المياه المالحة للبحر الميت تقع تحت المستوى المائي العذب (Water Table) بـ 4.44 مرة فيما أنها في البحار العادية تقدر بـ40 مرة.

وعلى سبيل المثال لو انخفض المستوى المائي العذب (Water Table) بمقدار 10سم فإن ذلك الانخفاض يسبب ارتفاعاً مقداره 4 أمتار في منسوب المياه المالحة في نفس المكان في حالة البحار العادية، ولكننا نجد أن الوضع مختلف بالنسبة للبحر الميت فإن انخفاض مستوى الماء العذب10سم يقابله ارتفاعاً بمقدار 0.44م في نفس المكان.

والحالة الثانية وحسب(Oroud,2001) فان معدل تناقص مستوى مياه البحر الميت 70-60سم/سنوياً ولنأخذ الحد الأعلى وهو 70سم/السنة فان هذا يصاحبه انخفاضاً في مستوى الماء العذب بحوالي16سم/السنة. فإذا علمنا بأن ارتفاع المياه في البحر الميت عام1963 حوالي395م دون مستوى سطح البحار الأخرى وأصبح في تموز 2005 حوالي418م دون مستوى البحار الأخرى (قياس شركة البوتاس العربية)،أي أن قيمة الانخفاض لسطح الماء للبحر الميت23 متراً خلال42 عاماً، فهذا يعني أن مستوى الماء العذب قد انخفض خلال تلك الفترة4.5 م. فإذا أخذ هذا الانخفاض وأضفنا إليه الميل الهيدروستاتيكي في نفس اتجاه البحر الميت فإنه سينتج عن ذلك زيادة في سرعة المياه العذبة وزيادة في طاقتها الحركية التي تساعد في سرعة عمليات الإذابة، وبالتالي تكون حفر الإذابة وتوزعها الذي يأخذ شكل الممر المائي الجوفي، بالإضافة إلى ترك فراغات كانت أصلاً مملوءه بالماء.

والسبب الآخر الذي يمكن أن يؤدي إلى انخفاض المستوى المائي العذب (Water Table) في منطقة الدراسة هو العدد الكبير من الآبار التي تم حفرها في منطقة غور حديثة وغور المزرعة وغور الصافي سواء ما كان منها للأغراض الزراعية

كالري أو الشرب والاستخدامات المنزلية وما كان منها للأغراض التعدينية كآبار شركة البوتاس العربية.

وبما أن حفر الإذابة تتركز وتظهر في غور حديثة، فان ما يهمنا هو دراسة الآبار الموجودة في حقل مياه غور حديثة حيث أن شركة البوتاس العربية تستغل المياه شبه المالحة (Semi-Brakish) من بئرين في منطقة حديثة هما بئر TA2,TA1 وبئر TS1-D الارتوازي والذي توقف تدفق الماء منه. ويبين الجدول(4) كميات المياه المنتجة من آبار حديثة العاملة والخاصة بشركة البوتاس العربية.

جدول(4)

كميات المياه المنتجة من آبار غور حديثة.

رقم البئر	كمية الإنتاج م^3/شهر
TA1	176531
TA2	125598
TS1-D	–
المجموع	302129

المصدر: التقرير الشهري لمصادر المياه لشهر نيسان2000(شركة البوتاس العربية)

ويظهر جدول(5) كميات المياه المنتجة من حقل غور حديثة والحقول المائية الأخرى في منطقة الدراسة.

جدول(5)

كميات المياه المنتجة من الحقول المائية في منطقة الدراسة.

الحقل المائي	كمية الإنتاج م^3/شهر

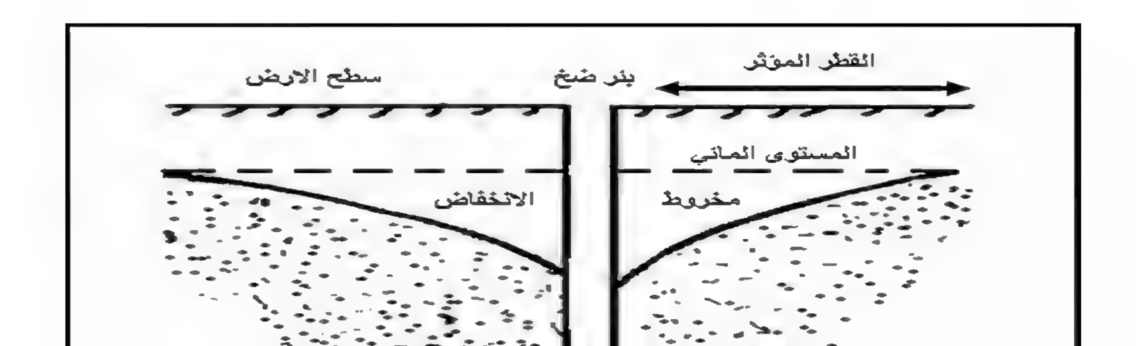
غور الصافي	192765
غور عيسال	39180
غور المزرعه	21640
غور حديثة	302129
المجموع	555714

المصدر:التقرير الشهري لمصادر المياه لشهر نيسان2000(شركة البوتاس العربية)

يلاحظ من الجدول السابق أن كمية المياه المنتجة من آبار غور حديثة تمثل حوالي54% من مجموع المياه الجوفية المستغلة في منطقة الدراسة. ويدل ذلك على كميات الضخ الكبيرة التي يتعرض لها الحوض المائي في غور حديثة الذي يؤدي إلى انخفاض حاد في المستوى المائي العذب، وهذا دليل آخر على تركز وظهور حفر الإذابة في غور حديثة بالذات.

ولتوضيح صورة ما يحدث في حقل غور حديثة المائي، فإن الضخ الكبير من الآبار الموجودة في المنطقة تجعل الماء الموجود في الصخور المجاورة للبئر تنساب لتعويض الكميات التي يتم سحبها، وبذلك يتكون ما يعرف بمخروط الانخفاض حول البئر شكل(24).وقد تتحد مخاريط الانخفاض مع بعضها بعضاً في نفس المنطقة لوجود أكثر من بئر في نفس الحوض المائي ويؤدي ذلك إلى انخفاض مستوى الماء في الخزان الجوفي بأكمله.

ونتيجة للضخ الكبير من الحوض المائي لغور حديثة أصبحت المياه مالحة بسبب تناقص المياه العذبة في ذلك الخزان المائي، مما يؤدي إلى تحرك المياه المالحة لتحل محلها شكل(25) كما يحدث في بئر رقم TA1 وTA2 في غور حديثة بالإضافة إلى جفاف الينابيع الحارة (Hot Springs) (سلامة وريماوي،1995).



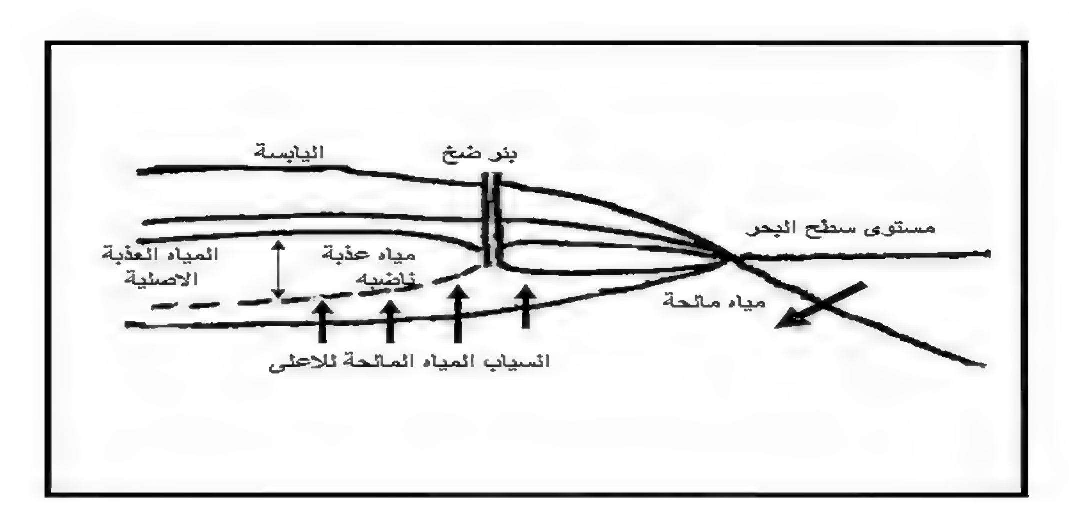
شكل(24)

مخروط الانخفاض حول بئر ضخ.

ومن المحتمل أن يؤدي الضخ الكبير من الآبار الموجودة في غور حديثة إلى تكون القنوات والممرات المائية الجوفية وتكون الكهوف والفراغات، سيما وأن معظم الصخور في تلك المنطقة تتكون من رسوبيات حديثة مفككة بالإضافة إلى كونها تحتوي على طبقات قابلة للإذابة.وإذا ما استمر عليه الحال في غور حديثة فان الخزانات المائية التي تقارب على النضوب ستفقد الضغط داخلها ويمكن أن تهبط نتيجة ضغط الطبقات التي تعلوها مكونةً حفر الإذابة أو عمليات الخسف كما يحصل حالياًَ في مناطق في غور حديثة.

هذا إذا أضفنا أن تلك المنطقة قد تعرضت في 22 آذار 1991 لفيضان كبير ولفترة قصيرة امتدت 24 ساعة فقط، وأدى ذلك الفيضان إلى تصريف كميات كبيرة من المياه عبر وادي ابن حماد خصوصاً ووادي الكرك ووادي الحسا ووادي نميرة التي تصب جميعها في البحر الميت.وقدرت كمية المياه المتدفقة حوالي210 مليون متر مكعب خلال 24 ساعة (Taqiedden et al., 2000) حيث أن تلك الكمية المتدفقة أدت إلى رفع مستوى المياه في البحر الميت حوالي0.2م من (−407.701) إلى (−407.512)، وتبع ذلك الارتفاع ارتفاع آخر في المستوى المائي العذب (Water

(Tableحوالي14 متراً (El-Isa et al., 1995).وأدى ذلك إلى أول ظهور لحفر الإذابة في المنطقة وخاصةً في غور حديثة بعد ذلك العام. وبتعاقب الانخفاض والارتفاع في المستوى المائي العذب في المنطقة سواء نتيجة الأسباب الطبيعية أو البشرية أو كليهما، جعلت عمليات الإذابة تنشط في تلك المنطقة وتكوين الفراغات والفجوات التي ما تلبث أن تنهار مكونةً حفر الإذابة.



شكل(25)

حركة المياه المالحة وزيادتها عند عمليات الضخ الجائر من الآبار

ويمكن أن يؤدي إقامة السدود والبرك التجميعية شكل(26) التي أقيمت من قبل سلطة وادي الأردن تحت اسم " مشروع الضخ من السدود التحويلية " إلى انخفاض المستوى المائي حيث بدأ العمل بهذا المشروع منذ عام 1986 وشمل الأودية التالية: وادي ابن حماد وادي الكرك وادي الذراع وادي الحسا وادي فيفا ووادي خنيزيره.



شكل(26)
إحدى البرك لتجميع المياه من الينابيع الطبيعية

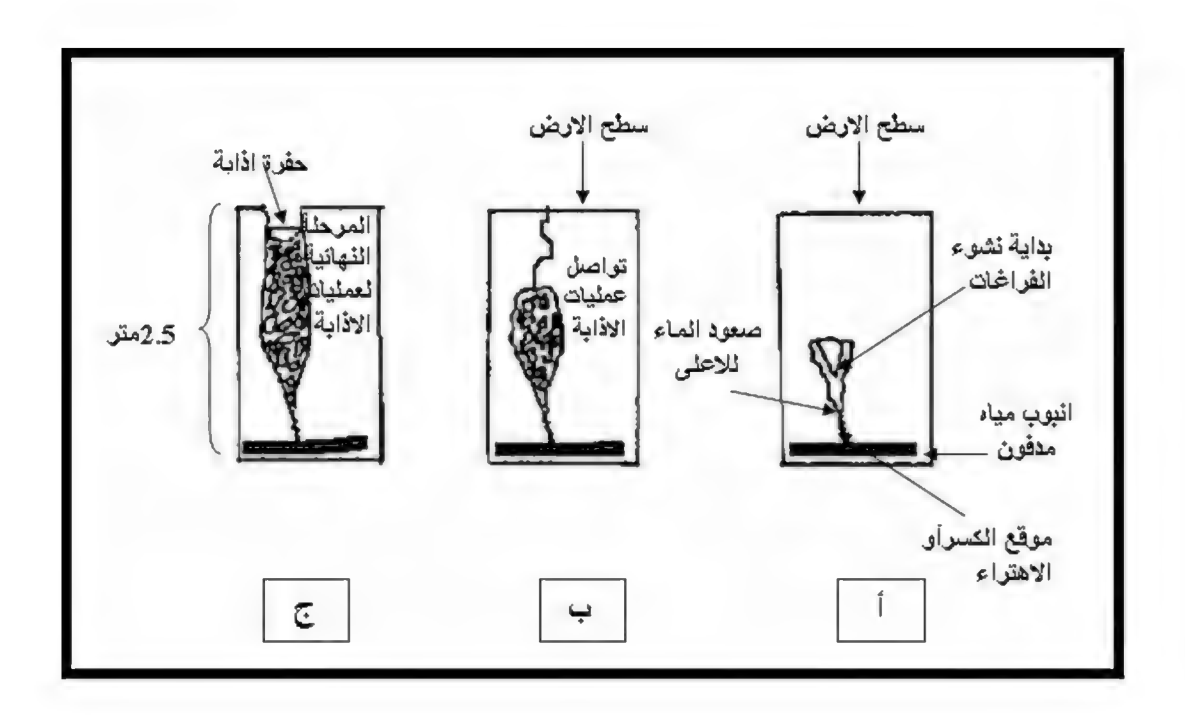
أما فيما يتعلق بأنابيب المياه المدفونة على عمق 2.5 متر داخل الوحدات الزراعية في غور حديثة التي تستخدم لغايات ري المزروعات، فقد تبين من خلال تتبع مسار تلك الأنابيب أن بعض حفر الإذابة قد تكونت بالقرب من هذه الأنابيب السطحية أو المدفونة أنظر شكل(27).



شكل(27)

حفر إذابة تكونت بالقرب من أنابيب مياه الري السطحية في الوحدات الزراعية في غور حديثة.

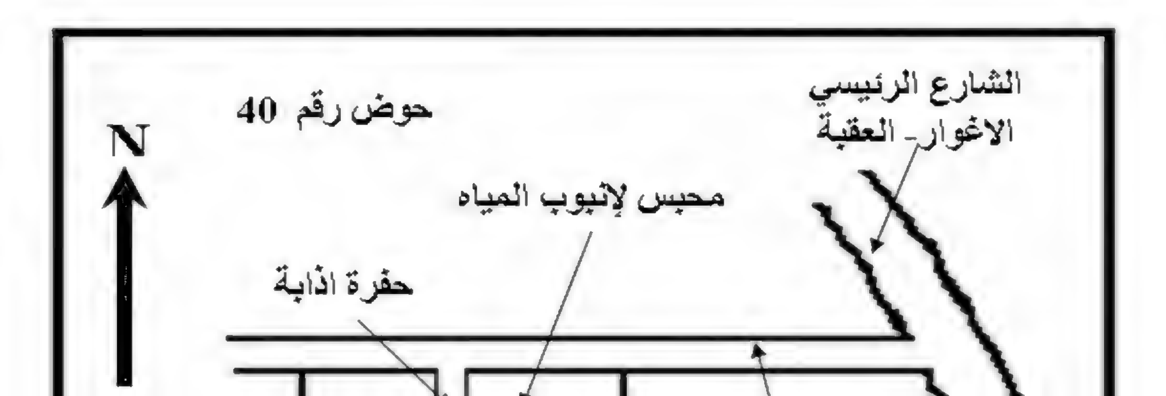
نتيجة كسرها أو إهترائها وتلفها وبالتالي تسرب الماء منها الذي يعمل على إذابة الطبقات الملحية أو الترسبات الملحية بين فراغات الصخور، وبالتالي تكوين التجاويف والفراغات التي ما تلبث أن تتطور إلى حفر إذابة شكل(28).



شكل(28)

سيناريو تكون حفر الإذابة الناتج عن تسرب المياه من أنابيب مياه الري.

وما يؤيد ذلك ظهور إحدى حفر الإذابة في منطقة غور الصافي البعيدة عن شاطيء البحر الميت بالقرب من أحد أنابيب المياه المدفونة شكل(29).



شكل(29)
موقع حفرة الإذابة التي ظهرت في مزارع غور الصافي

وبعد إصلاح الأنبوب وانقطاع التسرب منه تم ردم الحفرة ولم تظهر مرة أخرى، أي بعد زوال سبب نشوءها عكس ما يحدث للحفر التي تم ردمها في غور حديثة والتي عادت وتكونت من جديد شكل(30).



شكل(30)
تطور إحدى حفر الإذابة بعد ردمها.

هذا وقد قامت سلطة وادي الأردن بالتعاون مع إدارة الدفاع المدني بردم العديد من حفر الإذابة التي ظهرت في الوحدات الزراعية في غور حديثة، وتبين بعد فترة من الزمن أن بعض تلك الحفر عاد وتشكل من جديد، مما يؤكد استمرار وجود سبب نشوء تلك الحفر في حين أن البقية الأخرى لم يحدث عليها أي تغيير بعد عملية الردم لها مما يشير إلى اختفاء وزوال السبب الذي أدى إلى تكونها أصلاً ، بالإضافة إلى أن بعض الحفر التي ظهرت بسبب تلف بعض الأنابيب المدفونة أصبحت برك تجمع للمياه العذبة المتسربة من الأنبوب وأصبحت تستغل من قبل المزارعين لري مزروعاتهم شكل(31).



شكل(31)

تجمع المياه المتسربة من أنابيب المياه المدفونة في إحدى حفر الإذابة.

3.4 آلية التطور لحفر الإذابة في منطقة الدراسة

تناول العديد من الباحثين والدارسين آلية التطور لحفر الإذابة سواء ما ظهر

منها على الجانب الغربي للبحر الميت أو الجانب الشرقي والجنوبي له، فقد ذكر

(Abelson et al.,2003) أن الطبقات الملحية المدفونة تحت رواسب المراوح الفيضية

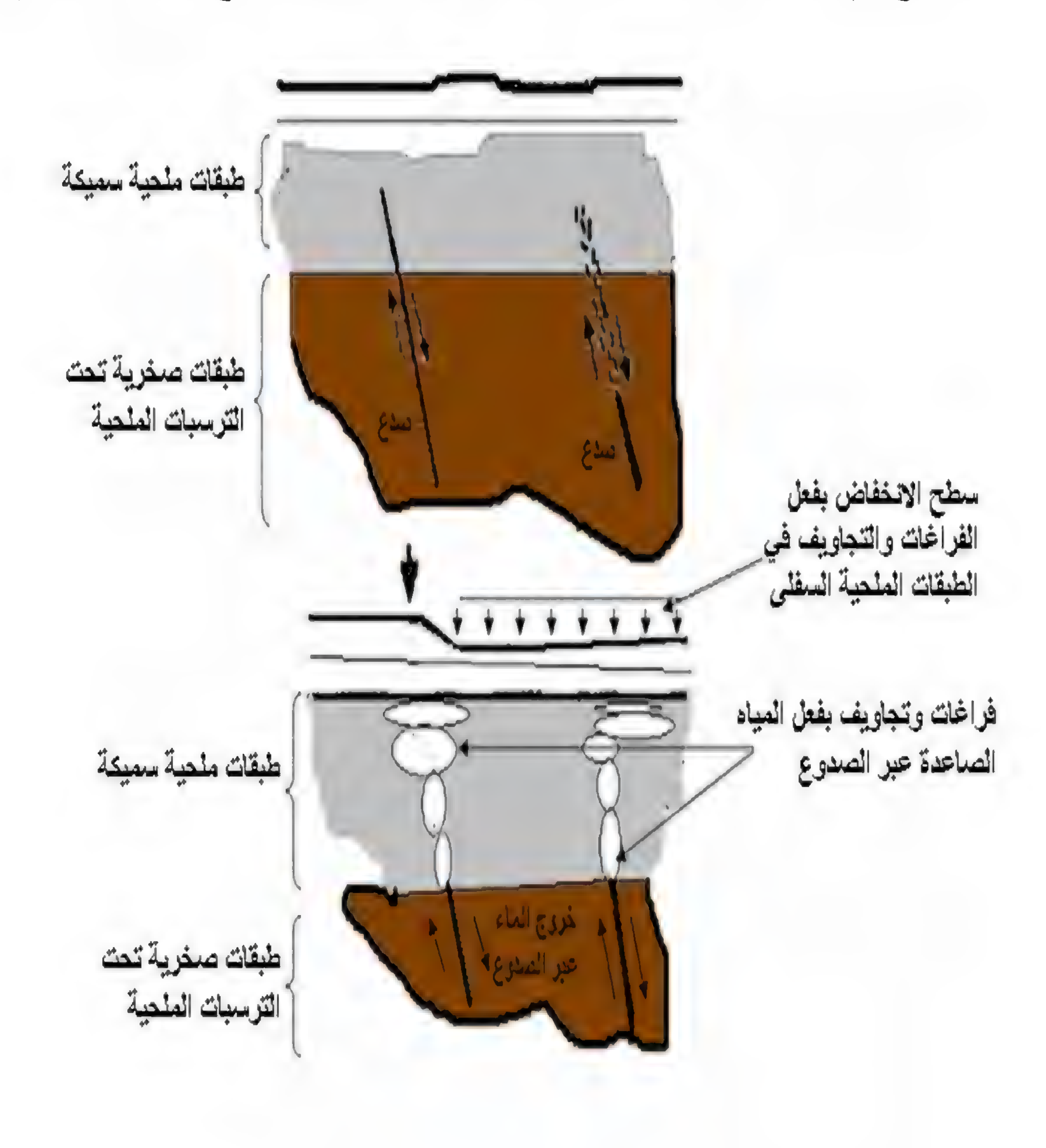
تذاب بواسطة المياه العذبة مخلفةً وراءها فراغات في مناطق نشطة تكتونياً، تحتوي

على صدوع محلية يخرج الماء عبر سطوح تلك الصدوع مكوناً دوامات مائيةً تنشط من

الأسفل إلى الطبقات العليا مذيبة ما بطريقها من مواد قابلة للذوبان ومكونةً فراغات

متصلة شكل(32)، ما تلبث تلك الفراغات أن تتطور إلى حفر إذابة عندما تقترب من

سطح الأرض. وهذا ما أكدته الدراسة الحالية، فبعد إسقاط مواقع حفر الإذابة التي ظهرت في منطقة الدراسة على الخرائط التركيبية التي تحتوي على أماكن تواجد الصدوع، تم ملاحظة أن تلك الحفر تأخذ خطاً موازياً تقريباً للصدع الرئيس والمحاذي



لشواطيء البحر الميت الشرقي، وتقع فوق الصدوع المحلية المدفونة التي حددت مواقعها الدراسات الجيوفيزيائية التي أجريت على منطقة الدراسة(EL-Isa et al.,1995) شكل(33) وشكل(34).

شكل(32)

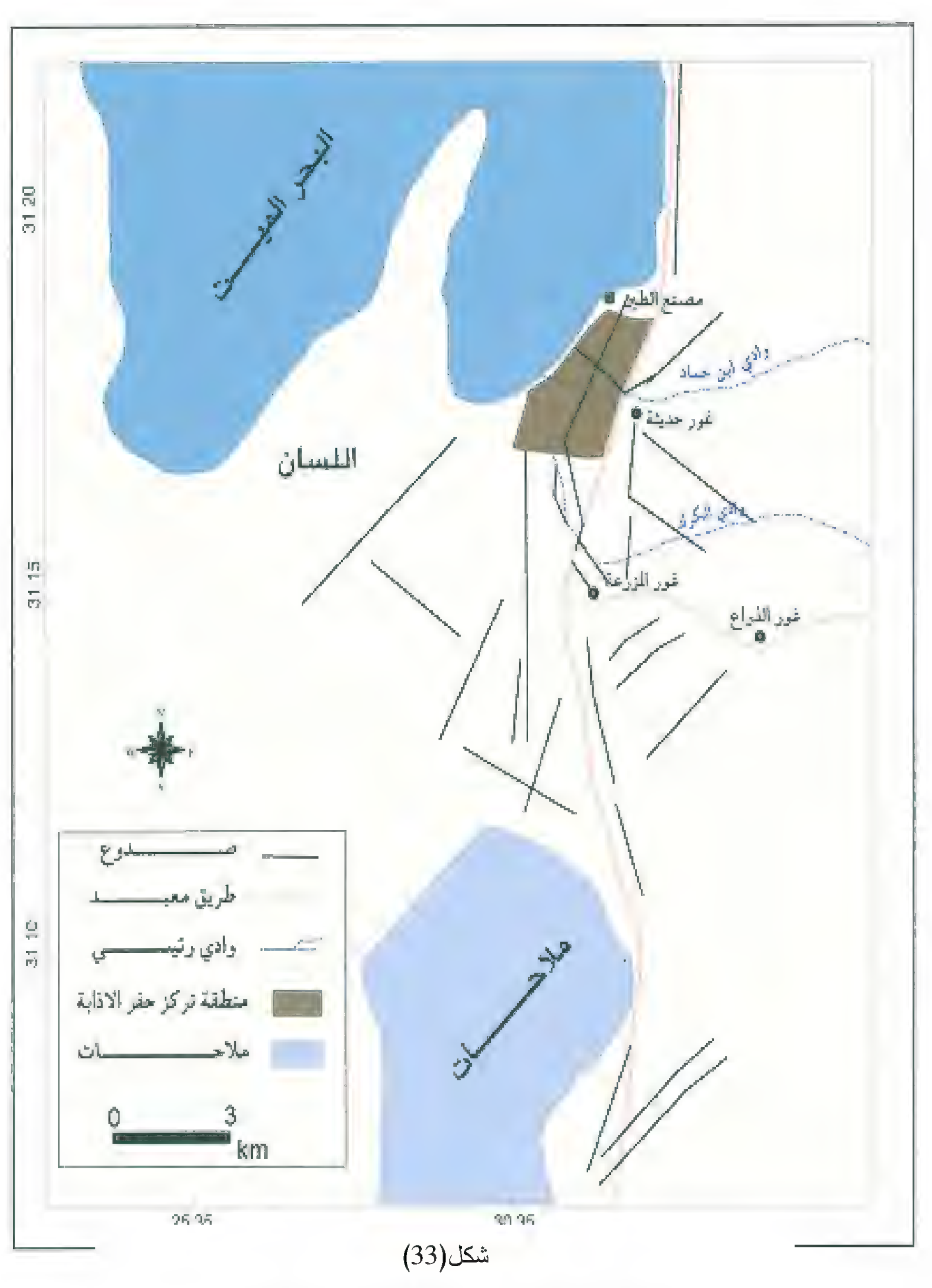
خروج المياه من خلال الصدوع المدفونة في مناطق ظهور حفر الإذابة

المصدر :(Abelson,2003)

وأشار (Arkin and Gilat,2000) أن تطور حفر الإذابة يحدث بسبب تحول الجريان الصفائحي إلى جريان اضطرابي داخل الممرات المائية الجوفية، الذي يؤدي إلى تكون الدوامات المائية التي تعمل على ازدياد وسرعة عمليات الإذابة ونشوء الفراغات التي تتطور فيما بعد إلى حفر إذابة. ويأخذ توزيع وانتشار الحفر خط جريان الممر المائي الجوفي، تؤيد نتائج الدراسة الحالية هذه الفرضية من خلال: أ- وجود الماء داخل العديد من الحفر، أنظر شكل(36) وشكل(64) حيث يستخدم المزارعين المياه الموجودة في الحفر لري مزارعهم. وبذلك تكون حفر الإذابة قد كشفت عن مواقع ومسارات الممرات المائية الجوفية العذبة، التي يمكن استغلالها في ري المزروعات والشرب في منطقة تعاني من شح موارد المياه فيها.إذ أن وصول أي قطرة مياه عذبة إلى البحر الميت يعني ضياع تلك القطرة التي نحن بأمس الحاجة لها.

ب-وجود نباتات يانعة الخضرة ومتصلة بشكل خطي، والمعلوم أن النباتات اليانعة لا يمكن أن تنمو في بيئة شبيه ببيئة المناطق المجاورة لبيئة البحر الميت ما لم يتوفر مصدر مائي تحت سطحي دائم. أنظر شكل(35) وشكل(44).

وذكر (Taqieddin et al.,2000) أن هناك تجاويف وفراغات تحت سطحية موجودة أصلاً تكونت بفعل عمليات الإذابة للطبقات الملحية، وفي فصل الشتاء عند هطول الأمطار أو عند عمليات الري في منطقة المزارع في غور حديثة، تتشبع الطبقات التي تقع فوق تلك الفراغات بالماء وبالتالي يزداد وزنها وثقلها فتنهار فجأةً مشكلةً حفر الإذابة. ومن خلال متابعة الباحث تبين أن تطور حفر الإذابة في منطقة الدراسة يحدث في جميع فصول السنة ولا يقتصر ظهورها على فصل بعينه، الأمر الذي يشير إلى تعدد وتنوع أسباب وآليات تطور تلك الحفر .



شكل(33)

الخارطة التركيبية للصدوع المدفونة في منطقة الدراسة.

المصدر (EL-Isa et al.,1995)



شكل (34)

حفر إذابة تأخذ خطاً موازياً لأحد الصدوع المدفونة وهي حفر خالية من الماء

كشفت الدراسة الميدانية بأنه يمكن التمييز بين ثلاث مجموعات من حفر الإذابة في منطقة الدراسة حسب مواقع ظهورها:

أولاً: حفر الإذابة في وسط المراوح الفيضية (Alluvial Fans)، التي تمثل المناطق الزراعية في غور حديثة بالذات حيث تتركز حفر الإذابة بها .

ثانياً: حفر الإذابة في مقدمة المراوح الفيضية، التي تمثل المناطق القريبة لشواطيء البحر الميت شمال غور حديثة أو المناطق التي تقع أسفل الوحدات الزراعية في غور حديثة.

ثالثاً: حفر الإذابة في منطقة شبة جزيرة اللسان (Lissan Peninsula). ومن المفيد التعرف على بيئة الترسيب ونوع التكوينات الليثولوجية في المواقع المختلفة التي ظهرت فيها حفر الإذابة، التي تم تقسيمها إلى ثلاث مجموعات التي بدورها ستساعد على فهم آلية تكون تلك الحفر. تعد المراوح الفيضية من الأشكال الارسابية المائية التي تتطور عند أقدام الجبال خصوصاً في المناطق الجافة وشبة الجافة. وتتراوح مساحة هذه المراوح من عدة مئات من الأمتار المربعة إلى عشرات الكيلومترات المربعة، وتتكون على شكل مخروط (Cone) قمته عند مخرج الوادي وقاعدته في الطرف البعيد عن المخرج. وفي منطقة الدراسة تطورت المراوح الفيضية بسبب تعرض هذه المنطقة لنشاط تكتوني(Tectonic) قوي أدى إلى إحداث فرق كبير في الارتفاع بين المناطق الجبلية ومناطق الترسيب.ونظراً لوجود فرق كبير في الارتفاع ولتضرس الأودية القادمة من المناطق الجبلية وللطبيعة شبة الصحراوية لهذه المنطقة وما توفره من حطام صخري، فان ذلك ساعد على زيادة كميات الرسوبيات التي تأتي مع مياه الأودية.

وتتميز رسوبيات المراوح الفيضية بأعمارها المختلفة التي تعكس ديناميكية الجريان التي سادت أثناء ترسبها، ونظراً لخشونة الرسوبيات في المراوح الفيضية فإن جزءاً كبيراً من مياه الفيضانات تتسرب في الأسفل حيث أن المجاري المائية لا تظهر معالمها الأصلية وتنتهي في الرسوبيات الفيضية، وتلك المياه المتسربة قد تساهم في تغذية المياه الجوفية المحاذية لتلك المراوح الفيضية أو قد تخرج من نهاية المروحة على شكل نزازات شكل(35)(انظر العرود،2002).



شكل(35)

خروج المياه على شكل نزازات في نهاية المروحة الفيضية في غور حديثة.

وتتصف المراوح الفيضية في غور الصافي وغور حديثة وغور المزرعة بالمساحات الكبيرة، التي تشير إلى اتساع وعظم مساحة الحوض التصريفي الذي جلب كميات كبيرة من الرواسب التي تكون فيها نسبة الأملاح عالية، بالإضافة إلى أن الرواسب تحت المراوح الفيضية تعرضت للغمر في الماضي من مياه مالحة، مما سبب وجود أملاح تحت سطحية أيضاً وتكون عرضةً لعمليات الإذابة فيما بعد عند توفر المياه العذبة، وبالتالي تكوين الفجوات والفراغات التي تتطور إلى حفر إذابة لاحقاً.أما بالنسبة للمجموعة الثانية للحفر التي تظهر في المناطق التي تمثل نهايات المروحه الفيضية التي تتصف بالرواسب الناعمة وتتكون في غالبيتها من المعادن الطينيه (Clay Minerals) والرسوبيات الملحية، حيث تختلط رسوبيات المياه العذبة والمالحة في تلك المناطق والتي تشكل حلقةً حول شواطيء البحر الميت الحالية نتيجة انحسار المياه فيه شكل(36).



شكل(36)

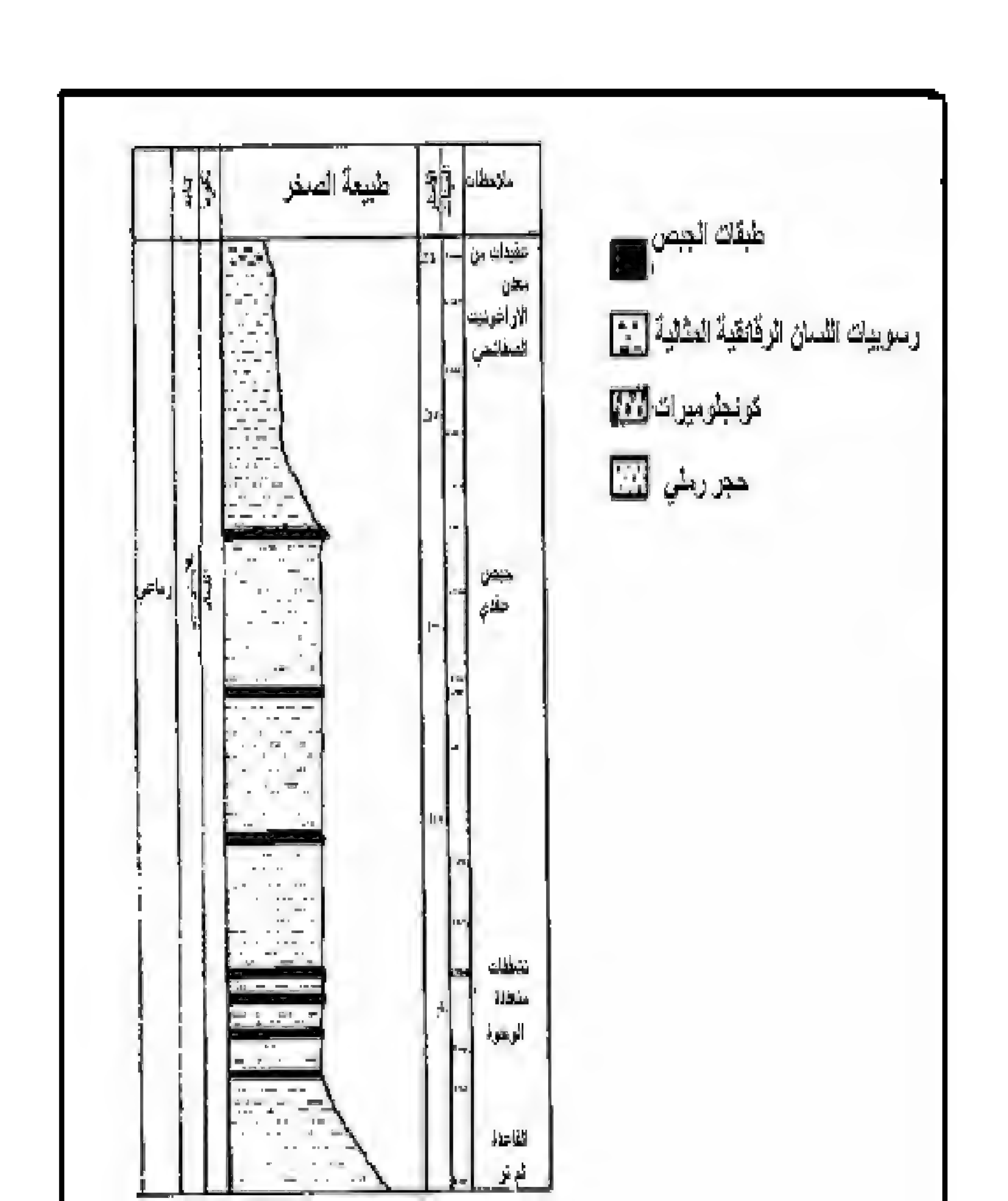
رسوبيات مختلطة للمياه العذبة والمالحة حول البحر الميت بعد انحسار شواطئة.

أما فيما يتعلق بالبيئة الرسوبية ونوعية الصخور للمجموعة الثالثة من الحفر التي تظهر في منطقة شبة جزيرة اللسان، فإنها تتكون من صخور طرية مكونة من طبقات رقيقة (Laminated) بيضاء من معدن الأراجونيت (Aragonite) وطبقات رقيقة رمادية اللون من معدن الجبص (Gypsum) لا يتجاوز سمكها2.5 ملم شكل(37)(Neev and Emery,1967).



شكل(37)
تتابع طبقي لمعدن الأراجونيت والجبص في منطقة شبة جزيرة اللسان.

وفـي أحيـان قليلـة توجد طبقـات مـن الجـبص يتـراوح سـمكها بـين3-13سـم. و يتضح من هذه الرسوبيات أن بيئة الترسيب كانت من مياه مالحة، إذ أن المياه العذبة لا يمكن أن ترسب معدن الجبص(عابد1985). ويبين الشكل (38) مقطعاً عمودياً للتكوين الليثولوجي في شبة جزيرة اللسان.



ملاحظات
طبيعة الصخر
طبقات الجبص
رسوبيات اللسان الرقائقية المثالية
كونجلوميرات
حجر رملي

شكل(38)

التكوين الليثولوجي لمنطقة شبة جزيرة اللسان.

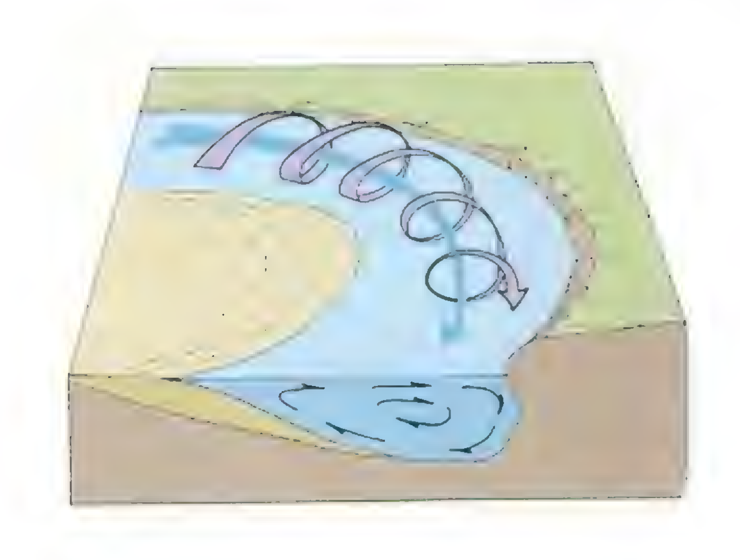
المصدر :(عابد ،1985).

يتضح مما سبق أن الماء العذب قادر على إذابة الأملاح سواء ما كان منها على شكل ترسبات بين الحبيبات الصخرية كما في أواسط المراوح الفيضية أو على شكل طبقات متداخلة مع طبقات طينية أخرى، كمناطق مقدمة المراوح الفيضية. وبما أن حفر الإذابة تأخذ أبعاداً معينة وبعيدة عن بعضها البعض فإن ذلك يدل على حدوث عمليات الإذابة بواسطة تكون الدوامات(Eddies) المائية في المجاري المائية الجوفية، مما يؤدي إلى حدوث الاضطراب في حركة التيار المائي للأعلى والأسفل والجوانب مما يساعد في ازدياد وسرعة عمليات الإذابة للصخور القابلة للذوبان، ومن ثم نقل المواد المذابة وترك مكانها فراغاً لا يلبث أن ينهار ما فوقها فجأةً.

وتحدث الدوامات نتيجة أسباب عديدة منها:

1.الهبوط المفاجيء للمجرى المائي 2. وجود عائق داخل المجرى المائي.
3.التقاء ممرين مائيين 4. عندما يضيق المجرى المائي.
5.حدوث صدوع محلية صغيرة. 6. انحناء المجرى المائي.
7.وصول المجرى المائي لطبقة كتيمة.

والشكل(39)يوضح كيفية حدوث الدوامة المائية.

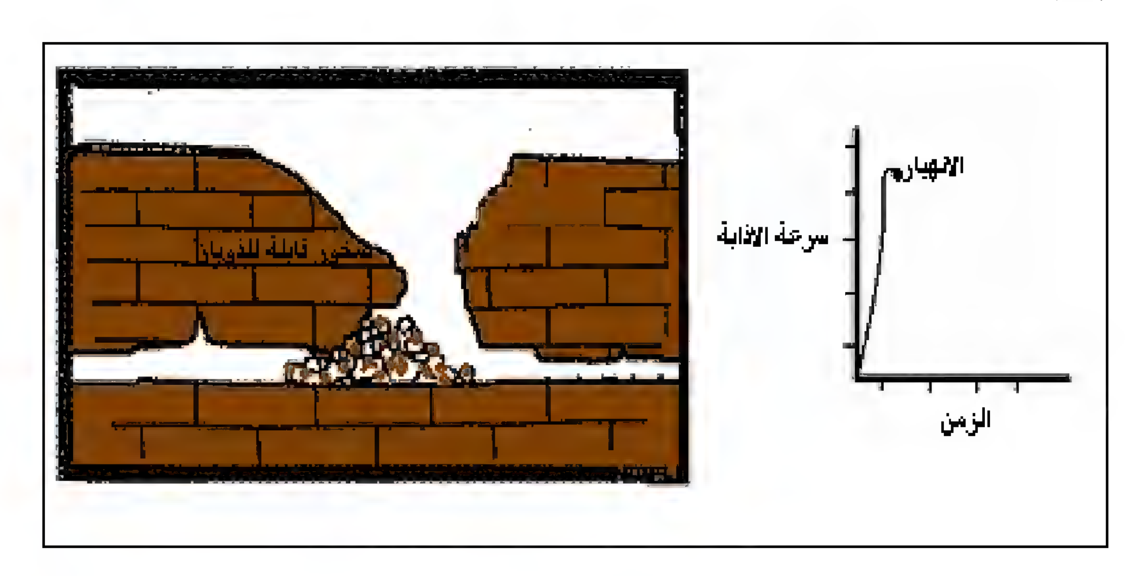


شكل(39).
تكون دوامة مائية داخل المجرى المائي.
المصدر:(Hamblin,1985)

هذا ويمكن أن يؤدي ارتفاع الماء الجوفي بسبب الفتحات والشقوق والصدوع الصغيرة بواسطة الضغط الهيدروستاتيكي أو بواسطة الضغط الناتج عن الغازات تبعاً لبعض التفاعلات الكيميائية التي تحدث تحت سطح الأرض، إلى إذابة المواد القابلة

للإذابة أثناء صعودها، وبالتالي تكوين الفراغات تحت السطح التي تتطور مع الزمن إلى حفر إذابة.

ونجد مما سبق أن عمليات الإذابة هي المسؤولة عن تكون حفر الإذابة في منطقة الدراسة، ولكن الاختلاف فيما بين تلك الحفر هو آلية التشكل والتطور. إذ نجد أن حفر الإذابة في منطقة المراوح الفيضية في الأراضي الزراعية لغور حديثة والى الشمال منه تكونت بهبوط غير متزامن مع عمليات الإذابة، أي عملية الانهيار المفاجيء. بحيث تكون الإذابة أولاً ثم تكوين الفراغات يتبعه عملية انهيار مفاجيء بسبب وزن الطبقات والرسوبيات فوق تلك الفراغات والتجاويف شكل(40) وشكل (41).

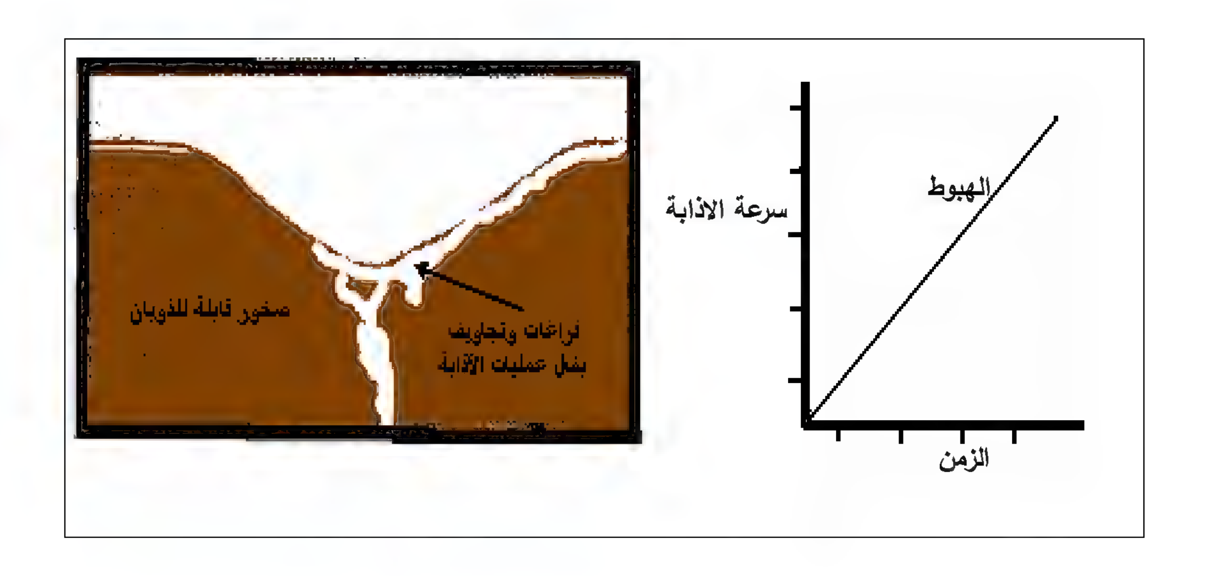


شكل(40)
آلية الانهيار المفاجيء لحفر الإذابة في منطقة الدراسة.



شكل(41)
الانهيار المفاجيء الناتج عن عمليات الإذابة تحت سطح الأرض.

أما فيما يتعلق بآلية التكون لحفر الإذابة في منطقة شبة جزيرة اللسان فالأمر مختلف، حيث أن الهبوط يكون مرافقاً ومتزامناً مع عمليات الإذابة. إذ أن وجود المنخفضات الأرضية وتوفر الشقوق السطحية تساعد على تجمع المياه وتسربها إلى داخل الأرض وتتم عملية الإذابة والهبوط معاً وتدريجياً شكل(42) وشكل(43).



شكل(42)

آلية الهبوط التدريجي لحفر الإذابة في منطقة الدراسة.



شكل (43)

الهبوط التدريجي لحفرة اذابة في منطقة الدراسة

وحسب سرعة الإذابة وتتصف حفر الإذابة في تلك المناطق بالقطر الكبير نسبياً والعمق الضحل. بالإضافة إلى نمو الأعشاب والأشجار داخل تلك الحفر الذي يشير إلى وجود المياه تحت المشبعة شكل(44).

هذا ويمكننا أيضاً مشاهدة العديد من مظاهر الإذابة كالكهوف والأنفاق الطبيعية والبالوعات في منطقة شبة جزيرة اللسان شكل(45).



شكل(44)
نمو الأشجار داخل حفر الإذابة.


بالوعة مائية
بالوعة مائية
نفق طبيعي
كهوف طبيعية

شكل(45)

مظاهر عمليات الإذابة في منطقة شبة جزيرة اللسان.

4.4 الخصائص المورفومترية لحفر الإذابة

يعتبر قياس المتغيرات المورفومترية لحفر الإذابة مثل : طول الحفرة (Length) عرضها(Width)وعمقها (Depth) من الأدوات التي تستخدم في عملية التحليل المورفومتري (Morphometric Analysis) الذي يقصد به استخدام القياسات المورفومترية في علاقات رياضية معروفه للحصول على معلومات كمية يمكن من خلالها معرفة أنماط توزع تلك الحفر (Distribution Patterns) وأنماط نموها وتطورها (Growth and Development) التي تؤدي إلى معرفة نوع العملية (Mechanism) التي أدت إلى نشوء وتكون حفرة الإذابة(Crammer1941,Fisher 2003).وتختلف

الخصائص الموفومترية من موقع لآخر ضمن منطقة الدراسة نظراً لاختلاف الخصائص الليثولوجية وآلية التكون فأحياناً يكون قطر الحفرة اكبر من عمقها وفي أحيان أخرى يكون العمق اكبر من القطر،حيث أن عمق الحفرة وقطرها يتغيران من فترة إلى أخرى وبصورة سريعة بسبب توالي عمليات الإذابة والهبوط.أما فيما يتعلق بدراسة مدلول الكثافة، واجه الباحث صعوبة، لان معظم الحفر القديمة قد تم ردمها والبعض الآخر مستتر غير ظاهر على السطح، لذلك إذا تم اعتماد عنصر العدد للحفر في وحدة المساحة فستكون الأرقام والصورة خاطئة.

أما بالنسبة لاستطالة الحفر، فبعضها يمتد من الشرق إلى الغرب وهو نفس اتجاه الممرات المائية التي تصب في البحر الميت وكذلك نفس اتجاه ميل (Slope) الأرض، والبعض الآخر تمتد استطالتها من الشمال إلى الجنوب وهي بذلك تأخذ اتجاه الصدع الرئيس والصدوع المدفونة تقريباً.

إن معدل التباعد والذي يقصد به اقصر مسافة بين حافتين من حواف حفرتين منفصلتين ومغلقتين (La Valli,1967)، فإن تلك المسافة تختلف من موقع لآخر، إذ أنها تتراوح بين مئات الأمتار كحد أقصى وعشرات السنتيمترات كحد أدنى، ويمكن القول انه إذ كانت مسافة التباعد بين الحفر معقولة، فإنه وبتوالي عمليات الإذابة والانهيار لحوافها فان المسافة تتقلص وتتحد الحفر مع بعضها مكونة مناطق خسف كبيرة نسبياًً.

حاول الباحث عن طريق الدراسة الميدانية المكثفة استخدام بعض المعاملات المورفومترية (Morphometric Factors) مثل: كثافة الحفر وطاقة التضرس والاستطالة والاستدارة للحفر،التي ترتبط قيمها كما أكدت الدراسات بعمليات الإذابة، إلا أنه يجب القول انه لا يمكن تطبيق أو استخدام كل الخصائص المورفومترية للربط بينها ونوع العملية التي كونت الحفرة للأسباب التالية :

أولاً: صعوبة أخذ القياسات بسبب عدم التمكن من الاقتراب من الحفرة بسبب خطورة المناطق المحيطة بها وصعوبة السير عليها شكل(46).



شكل(46)

انتشار الأوحال والأراضي الهشة حول حفر الإذابة.

ثانياً: وجود الماء في العديد من الحفر مما يجعل أخذ القياسات يحتمل الخطأ وخاصةً فيما يتعلق بالعمق شكل(47).



شكل(47)
حفرة إذابة مملؤه بالماء

ثالثاً: نمو الأشجار والأعشاب الكثيفة في الكثير من الحفر التي تعمل على حجب الأبعاد الحقيقة للحفرة وبالتالي صعوبة أخذ القياسات شكل(48).



شكل(48)

نمو الأشجار داخل حفر الإذابة.

رابعاً: تطور وإتحاد الحفر القريبة من بعضها البعض الذي يؤدي إلى عملية هبوط وخسف كبيرة، مما يؤدي إلي ضياع معالم الحفر المتحدة مع بعضها البعض شكل(49).



شكل(49)

تطور إتحاد حفر الإذابة.

خامساً: العمق الكبير لبعض الحفر الذي يتجاوز احياناً40 متراً وبقطر لا يزيد عن 1.5 متراً شكل(50).



(50) العمق الكبير والقطر الصغير لإحدى حفر الإذابة

سادساً: عدم تجانس وتشابه السطح الذي ظهرت فيه حفر الإذابة من الناحية الليثولوجية (Lithology)، مما يجعل نتائج التحليل المورفومتري غير صحيحة ولا تتسم بالدقة المطلوبة.

سابعاً: التفاوت الكبير لأبعاد الحفر في منطقة الدراسة فبعضها لا يتجاوز قطرها 5سم، بينما بعضها الأخر يتجاوز قطرها 30 متراً شكل(51) وشكل(52).



شكل(51)

حفر إذابة لا يتجاوز قطرها 5 سم.



شكل(52)

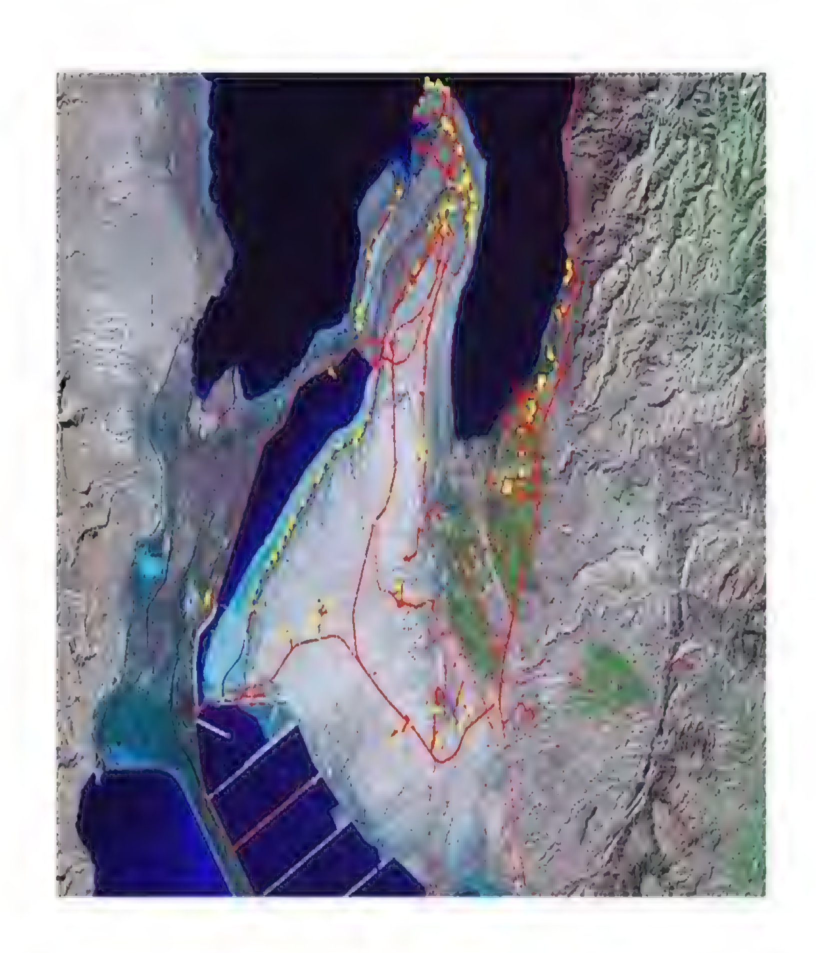
حفر إذابة يتجاوز قطرها 30 متراً

ثامناً: عدم احتفاظ حفر الإذابة في منطقة الدراسة بالمعالم التي تشكلت بها أصلاً، وذلك بسبب الذائبية العالية للصخور الملحية التي تبلغ أعلى من 7500 مرة من ذائبية الحجر الجيري وللجبص أعلى 15 مرة من الحجر الجيري، وهذا يؤدي إلى تغير سريع ومستمر لأبعاد الحفرة في زمن قصير(Joseph et al.,1998).

يتضح مما سبق أن هناك صعوبات جمة تعترض دراسة الخصائص المورفومترية لمنطقة الدراسة بسبب الصعوبات التي ذكرت آنفاً، وتجدر الإشارة هنا أن الدراسات التي تناولت الخصائص المورفومترية لحفر الإذابة كانت لمناطق ذات تكوين

ليثلوجي متشابه غالباً ما يكون من الحجر الجيري والدولومايت في الكثير من الأقاليم الكارستية حول العالم.

أما بالنسبة لاماكن ظهور حفر الإذابة في منطقة الدراسة فقد تم تعيينها باستخدام تقنية GPS (Global Positioning System) شكل(53).



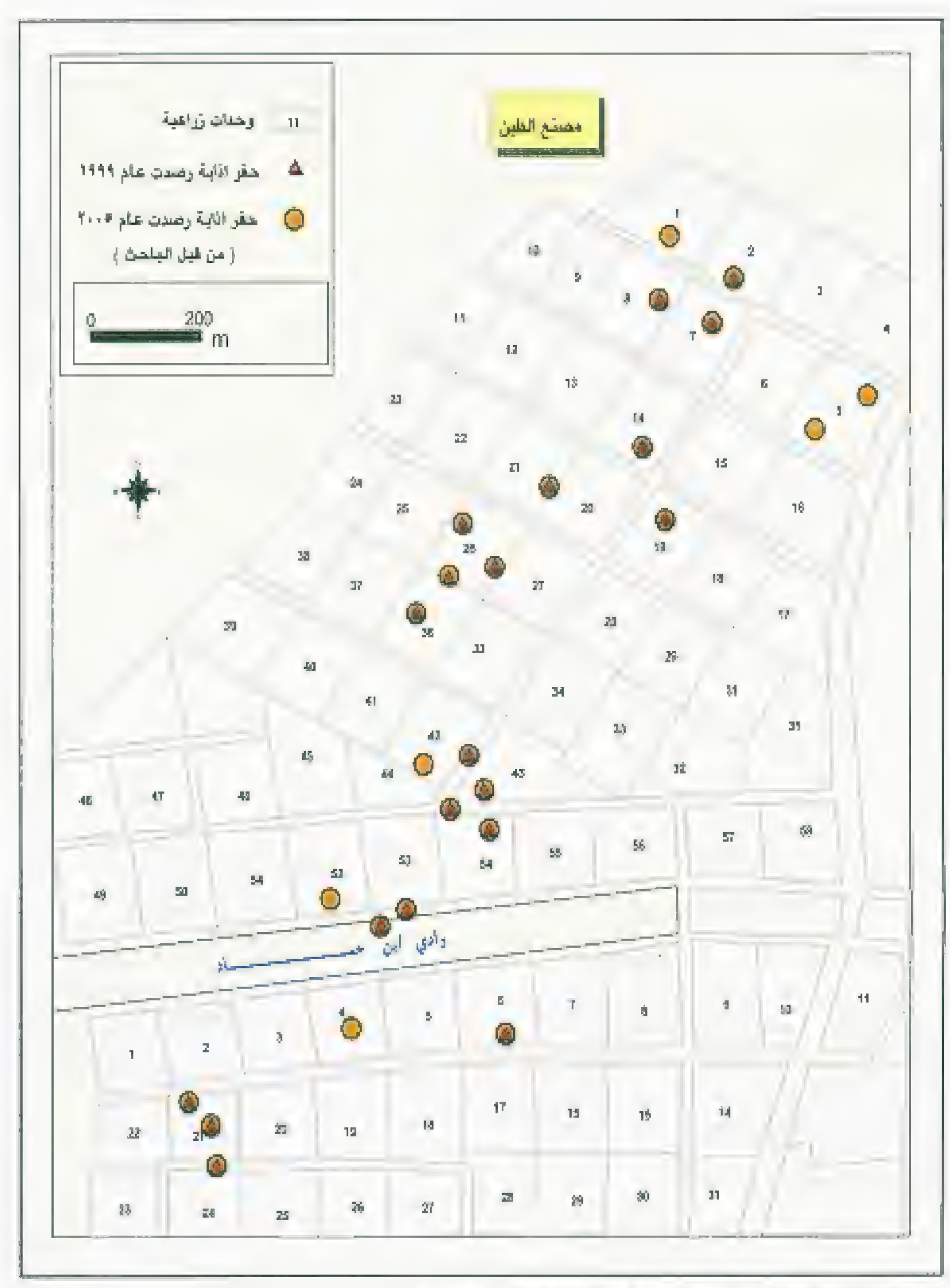
بعـض مواقــع حفــر الإذابــة فــي منطقة الدراسة

شكل(53)

بعض مواقع حفر الإذابة وانتشارها بواسطة استخدام GPS

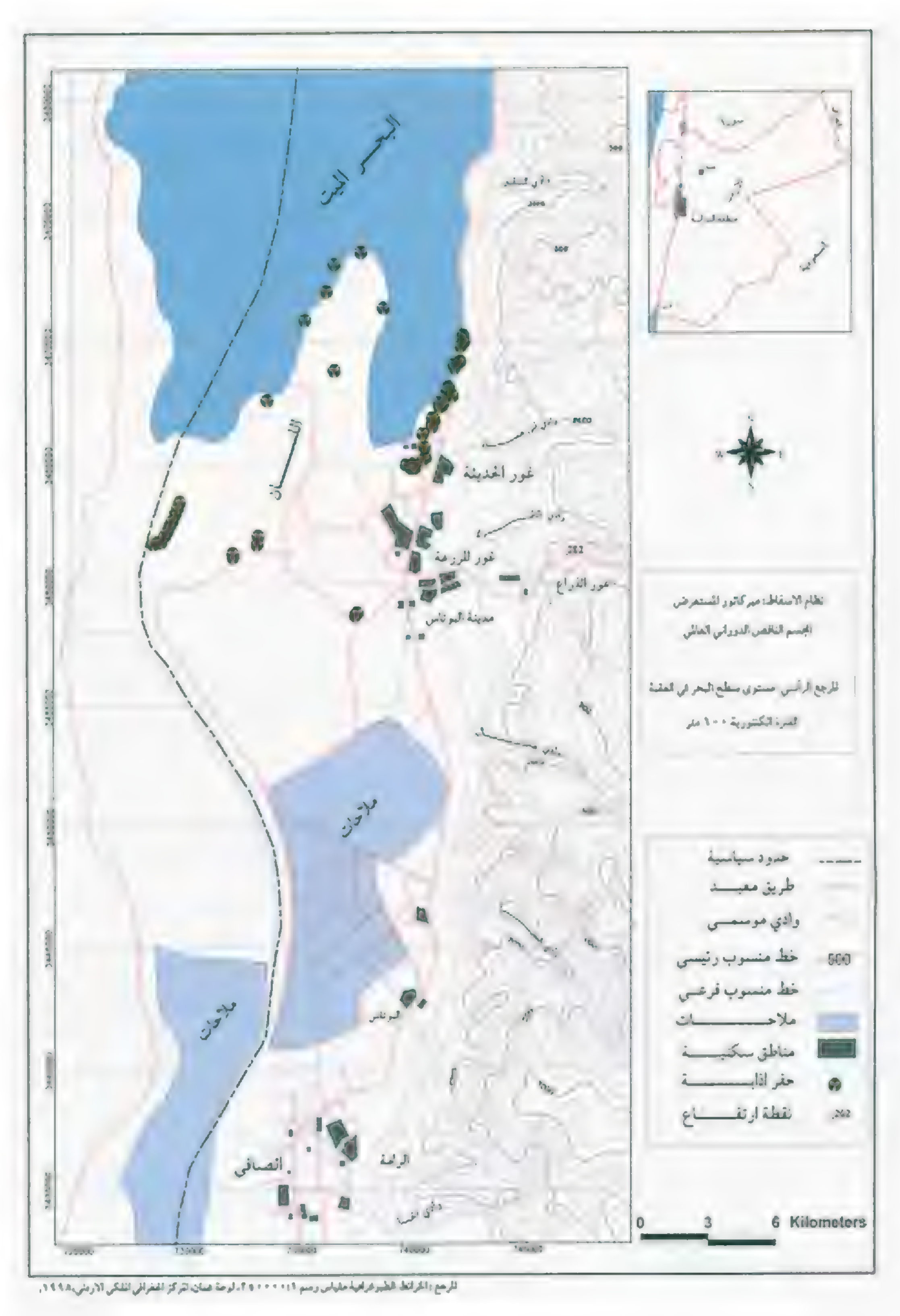
المصدر: (Closson et al.,2005)

علماً أن العديد من الحفر التي ظهرت وتم رصدها في منطقة الوحدات الزراعية في غور حديثة منذ عام 1995 وحتى عام 1999 قد تم ردمها وتعبئتها بالرواسب من قبل سلطة وادي الأردن. والدراسة الحالية كشفت أن العديد من تلك الحفر التي ردمت قد عادت وتشكلت مرة أخرى شكل(54) . الأمر الذي يؤكد أن سبب تكون ونشوء حفر الإذابة مازال موجوداً وفعالاً، ويعتقد الباحث أن الممرات المائية الجوفية في منطقة الدراسة، بالإضافة إلى وجود الصدوع المحلية الفعالة والمدفونة (غير ظاهرة على السطح)،التي أكدتها الدراسات الجيوفيزيائية التي أجريت قبيل ظهور حفر الإذابة التي تقع بموازاة مواقع ظهور تلك الحفر شكل(55)، وبموازاة الصدع الرئيس على الجانب الشرقي للبحر الميت شكل(56). وتأخذ حفر الإذابة توزيعاً طولياً باتجاه SSW-NNE وهي بذلك تأخذ اتجاه الصدوع المحلية والصدع الرئيس التي تقع شرق البحر الميت تقريباً.

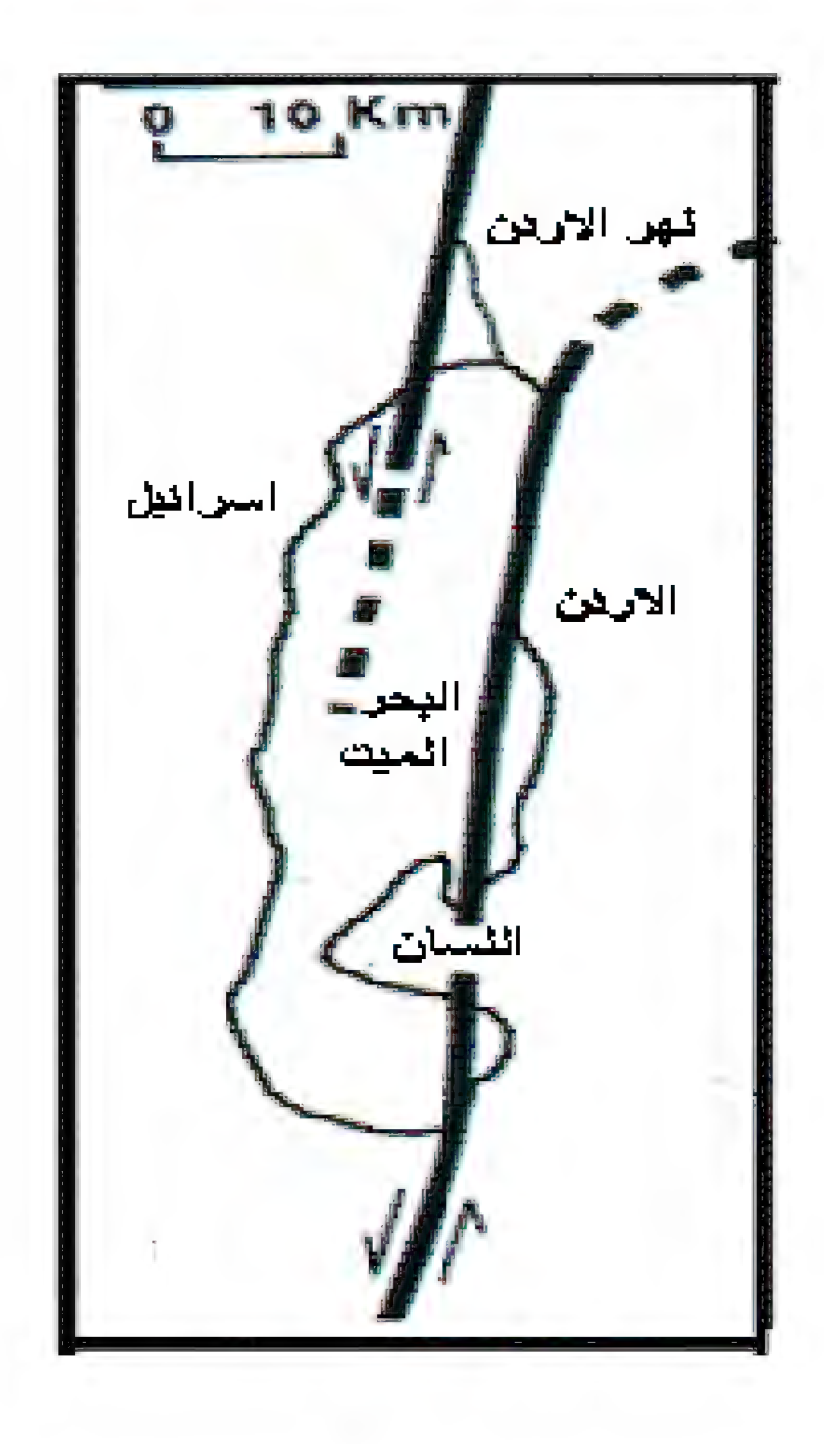


شكل (٥١). حفر الاذابة داخل الوحدات الزراعية (١٩٩٥ - ٢٠٠٥).

شكل(54).حفر الإذابة داخل الوحدات الزراعية(1995-2005).



شكل(55) الخارطة الطبوغرافية لمنطقة الدراسة ومواقع حفر الاذابة.


0 10 Km
نهر الاردن
اسرائيل
الاردن
البحر
الميت
اللسان

المصدر :(1997

5.4 أثر إنشاء قناة البحرين على حفر الإذابة

تعود الجذور التاريخية لفكرة إنشاء قناة تربط بين البحر الميت والبحر المتوسط أو البحر الأحمر إلى القرن السادس عشر، حينما ظهرت أولى خرائط شق قناة تربط بين البحر المتوسط والبحر الميت. وقد تم طرحها أيضاً من قبل زعيم الصهيونية ثيودور هرتزل الذي أشار إليها عام 1902 في كتابه الأرض الجديدة القديمة، محدداً عام 1923 موعداً لتنفيذ تلك القناة ولكن لأسباب ما لم تنفذ تلك القناة. فيما أعيد طرحها مرات عديدة في الأعوام 1950،1974،1977 (عابد 1985). وأيضاً تم طرح الموضوع في مؤتمر الأرض الذي عقد في جوهانسبرغ عام 2002. وثم طرح في مؤتمر المياه في اليابان الذي عقد في آذار 2003. ورغم كل ذلك لم يتخذ قرار جاد بتنفيذ تلك القناة لأسباب سياسية كانت تمر بالمنطقة برمتها.

في بداية تموز عام 2005 أعلن البنك الدولي عن موافقة الدول المانحة على تمويل دراسة الجدوى للمشروع، وتوضيح الآثار البيئية والاقتصادية والاجتماعية الناتجة عن نقل المياه من البحر الأحمر عبر وادي عربه إلى البحر الميت،حيث تقدر كلفة الدراسة 10.6 مليون دولار مقدمة من اليابان وأمريكا وفرنسا وايطاليا والنرويج والسويد وتستغرق مدة الدراسة عامين (صحيفة الغد- العدد 2005/346).

تقوم فكرة المشروع على مد أنبوب ناقل لمياه البحر الأحمر إلى البحر الميت ضمن مرحلتين:

المرحلة الأولى: إنشاء قناة بطول 12 كم من شاطيء خليج العقبة باتجاه الشمال بسعة تدفق تصل إلى 60 م3 / ثانية إلى محطة رفع، تضخ المياه بواسطة الأنابيب إلى ارتفاع 126 متراً فوق سطح البحر.

المرحلة الثانية: تنقل المياه بعد ذلك عبر أنابيب قطرها أربعة أمتار وبطول 180 كم إلى الشاطيء الجنوبي بواسطة الانسياب الطبيعي، لنقطة تصل ارتفاعها 107 أمتار فوق سطح البحر الميت، بحيث تسقط المياه إلى مستوى 400 مترا تحت سطح البحر ، ويستفاد من فرق المنسوب المقدر بحوالي 500م عبر بناء محطات لتوليد الطاقة الكهربائية، يصار بعدها إلى تحلية المياه من خلال طرح عطاء دولي لهذه الغاية.

ويهدف المشروع بالدرجة الأولى إلى معالجة انخفاض وانحسار مياه البحر الميت، من خلال تزويده بالمياه. ولكنه يجب عدم حصر التعامل فقط مع مشكلة انخفاض منسوب مياه البحر الميت رغم أهميتها، والتجاوز عن القضايا البيئية الملحة الناتجة عنها. حيث أنقسم الباحثون والدارسون إلى فريقين مابين مؤيد ومعارض لإنشاء تلك القناة.

أما المؤيدون لإنشاء القناة وجلهم من الاقتصاديين والصحفيين فيعتقدون أن للقناة فوائد منها:

1- إنتاج مياه الشرب في منطقة تشكو من الجفاف.
2- إنقاذ البحر الميت من الانحسار وما يتبع ذلك من أضرار بيئية واقتصادية.
3- إحياء منطقة وادي عربة الجرداء وتحويلها إلى واد أخضر.
4- ستصبح منطقة وادي عربة جاذبة للسكان والمستثمرين بسبب المشاريع المنوي إقامتها فيها.
5- إنتاج الطاقة الكهربائية كبديل عن المحروقات.
6- الاستفادة من تحلية مياه البحر الأحمر.
7- الحفاظ على البحر الميت كمعلم تاريخي اثري.

8- تشجيع القطاع السياحي والمحافظة عليه في المناطق المجاورة للبحر الميت.

9- المحافظة على المشاريع التعدينية كشركة البوتاس العربية ومصنع البرومين وغيرها من الصناعات.

10- زيادة الكثافة السكانية في وادي عربة.

أما الفريق المعارض لإنشاء القناة فيعتقدون أن للقناة مخاطر بيئية واقتصادية منها:

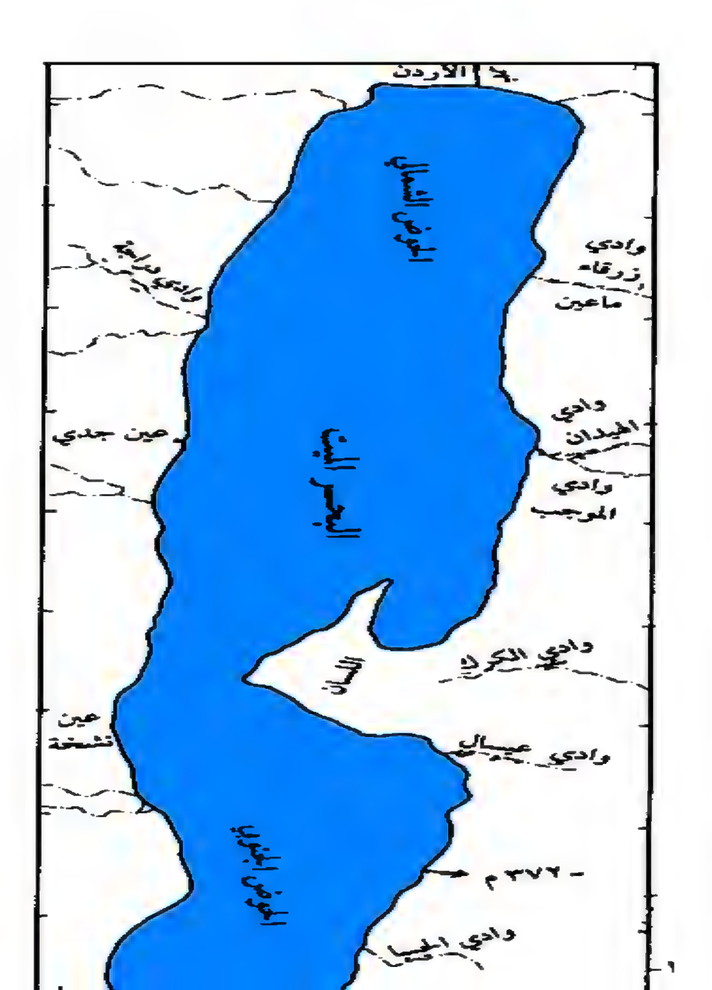
1- تدفق مياه البحر الأحمر الأقل ملوحة إلى البحر الميت سيؤدي إلى اختلال التركيز الكيميائي لطبقات مياه البحر الميت.

2- تدمير الصناعات العلاجية التي تستخدم منتجات البحر الميت من طين وأملاح، نظراً لغمر أماكن استخراج تلك المواد بالمياه القادمة من البحر الأحمر.

3- سيتم غمر جميع السدود (الملاحات) التي أقامتها شركة البوتاس العربية في الحوض الجنوبي الذي جف تماماً والتي كلفت مبالغ طائلة لإنشائها.

أما فيما يتعلق بإنشاء قناة البحرين وتأثيرها على حفر الإذابة في المناطق المحاذية للبحر الميت،فان المنوي عمله هو رفع مستوى الماء في البحر الميت 10 أمتار. وهذا يعني تقدم وارتفاع جبهة الماء المالح باتجاه المناطق الشاطئية،وإحلال $6.1*10^9$ متر مكعب من مخزون المياه الجوفية العذبة بمياه البحر الميت المالحة، يضاف إليها إحلال $4.5*10^9$ متر مكعب أخرى لحين حصول التوازن الديناميكي على طول جبهة المياه العذبة والمالحة (سلامه1985).

وتشير الدراسات أنه من المنوي رفع سطح مياه البحر الميت يتراوح بين رقمين (- 390) شكل(57).



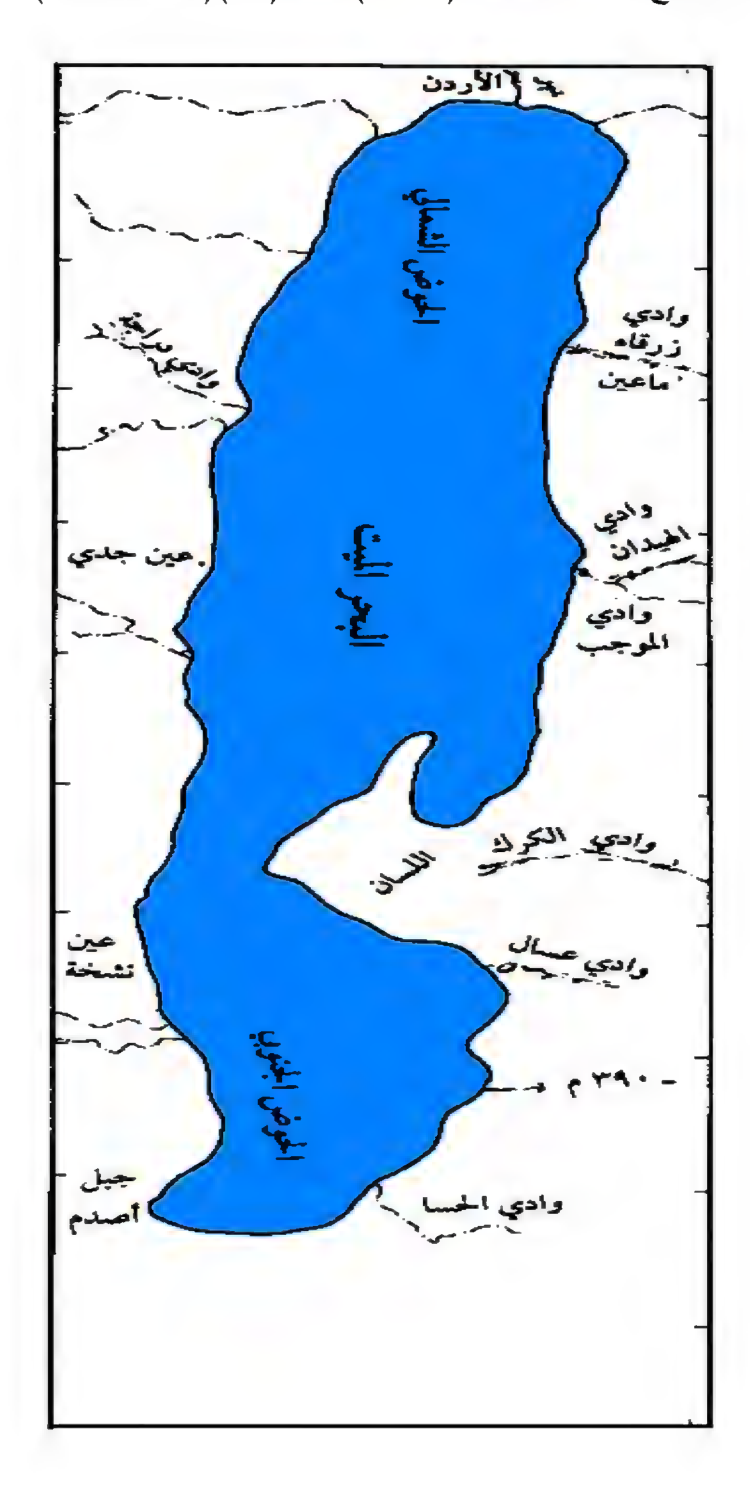
نهر الأردن
الحوض الشمالي
وادي زرقاء ماعين
عين جدي
وادي الهيدان
البحر الميت
وادي الموجب
اللسان
وادي الكرك
عين فشخة
وادي عسال
الحوض الجنوبي
-٣٧٢ م
وادي الحسا

شكل(57)

البحر الميت عندما يصبح ارتفاع سطح الماء فيه(-390)

المصدر :عابد(1985).

والرقم الآخر رفع مستوى مياهه (-372) شكل(58)(عابد 1985).

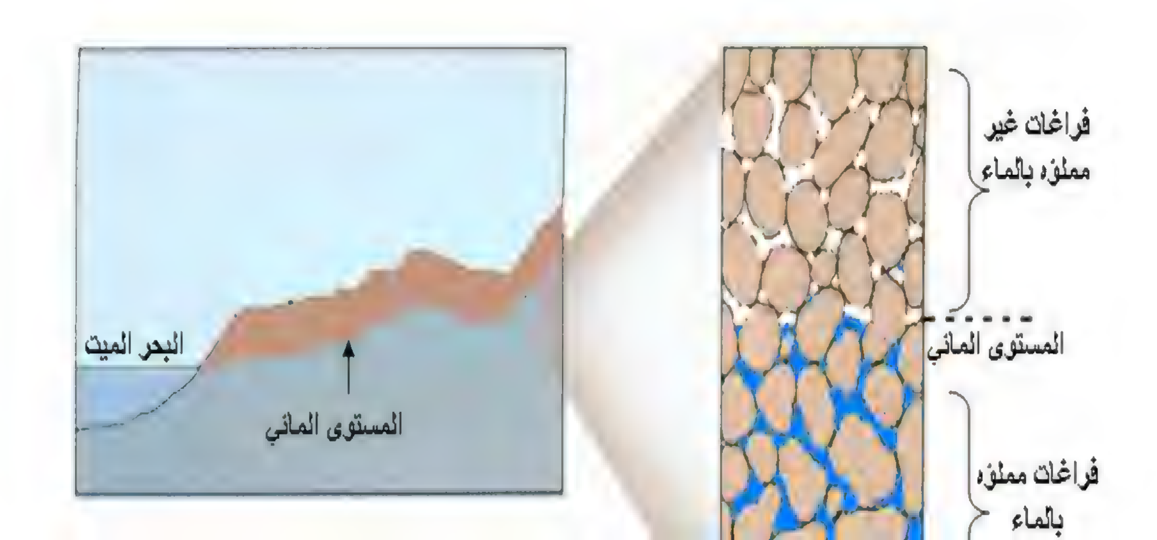


شكل(58)

البحر الميت عندما يصبح ارتفاع سطح الماء فيه(-372)

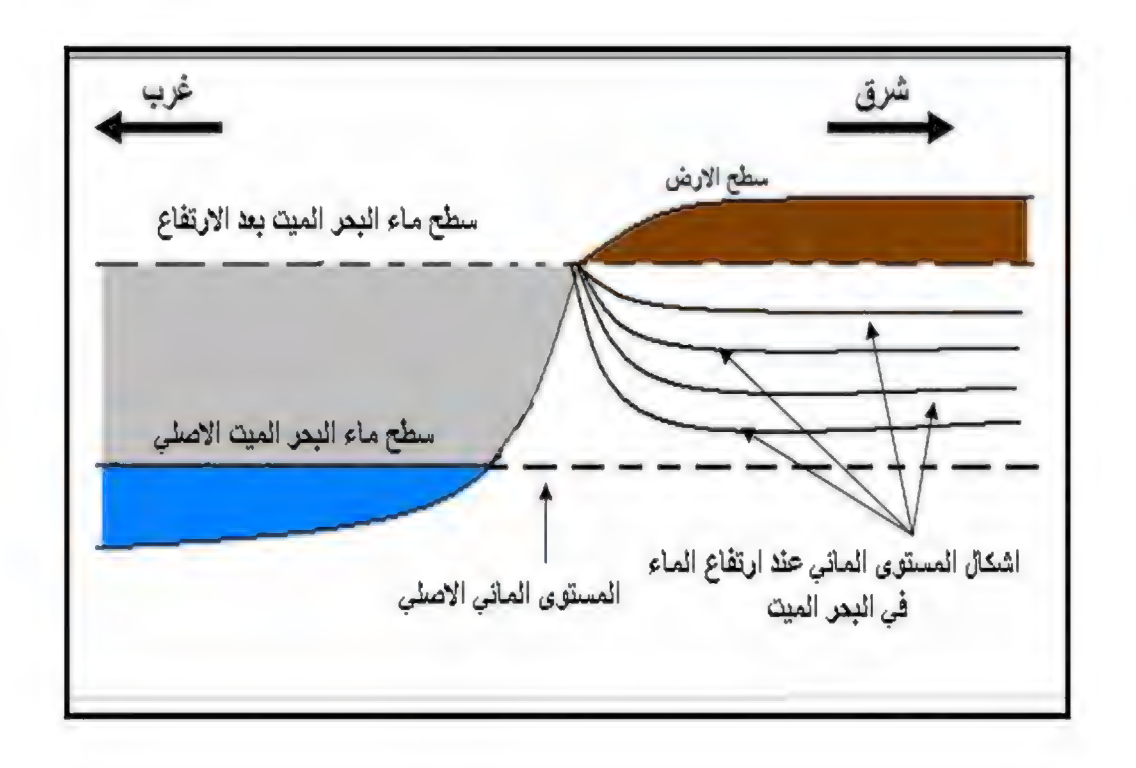
المصدر :عابد(1985).

وبالتالي فإن المناطق التي تم انحسار الماء عنها وتشكل فيها فراغات وتجاويف نتيجة عمليات الإذابة ستغمر بالمياه ثانية، وصحيح أن المياه الجديدة ستكون أقل ملوحة وستذيب بعض البلورات الملحية أو الطبقات الملحية الرقيقة ولكنها ما تلبث أن تمتليء سريعاً بالماء مما يملأ تلك الفراغات ويمنع انهيارها علاوة على أن ارتفاع مياه سطح البحر سيرافقه ارتفاع في منسوب الماء الجوفي الذي يملأ كذلك الفراغات الموجودة أصلاً في صخور المنطقة.ويبين شكل(59) تغير المستوى المائي للمناطق المحاذية للبحر الميت عند انخفاض مستواه وعند ارتفاع مستوى الماء فيه، وتأثير ذلك الانخفاض أو الارتفاع على الفراغات الموجودة في المناطق القريبة من شاطيء البحر والتي تظهر حفر الإذابة فيها شكل(60).



شكل(59)

علاقة الارتفاع أو الانخفاض للمستوى المائي مع الفراغات الموجودة داخل المناطق الشاطئية.



شكل(60)

ارتفاع المستوى المائي تبعاً لارتفاع مستوى مياه البحر الميت.

مما سبق يتضح بأن إنشاء قناة البحرين ذو أثر إيجابي على تكون حفر الإذابة إذ أنه سيحد ويقلل من تكونها، بنفس الطريقة التي يتم فيها ضخ المياه في آبار النفط التي نضبت لمليء تلك الفراغات التي تم سحب النفط منها، تجنباً لحدوث الانخسافات وحفر الإذابة في مناطق الحوض النفطي.

6.4 الأخطار الناتجة عن تكون حفر الإذابة

تكمن الأخطار الناتجة عن حفر الإذابة في منطقة الدراسة في تغير استخدامات الأراضي للمناطق المحاذية للبحر الميت، وخصوصا غور حديثة وغور المزرعة ومناطق امتياز شركة البوتاس العربية. إذ بدأ الاهتمام الحكومي في منطقة البحر الميت منذ عام 1995 عندما أنيط بسلطة وادي الأردن مهمة وضع خطة هيكلية شاملة للمنطقة الممتدة من سويمه شمالاً وحتى غور المزرعة جنوباً وبطول 65كم تقريباً. وقد جاءت تلك الخطة بعد ملاحظة التغير الكبير في استخدامات الأراضي في تلك المناطق سواء من زراعية إلى سكنية ومن رعوية إلى زراعية، ولوحظ أيضاً تراجع الاستخدام الزراعي لصالح الاستخدام الصناعي والسياحي والسكني للمناطق المحاذية لشواطيء البحر الميت الشرقية. نتيجة عمليات التطوير والتوسع في المشاريع الصناعية المقامة حالياً كشركة البوتاس العربية وكذلك دخول صناعات جديدة كمصنع البرومين الأردني ومصنع الطين وغيرها من الصناعات. يضاف الى ذلك المشاريع السياحية المنوي إقامتها في تلك المناطق ومن الأمثلة على تلك المشاريع، إقامة فندق الهوليدي إن على شاطيء البحر الميت والمتوقع أن تصل كلفته إلى 20 مليون دينار وفندق كراون بلازا بكلفة 25 مليون دينار، وهاتين المنشأتين مملوكتان بالكامل لمؤسسة الضمان الاجتماعي(صحيفة الدستور – العدد

13622- 2005). وستقوم أيضاً شركة أيام الشمس الدولية (Sunny International) بإنشاء مدينة مائية على شاطيء البحر الميت على مساحة 47 دونماً بكلفة 60 مليون دولار أمريكي (صحيفة الرأي- العدد 12728-2005).وتنوي كذلك شركة الاتحاد المتكاملة الخاصة إقامة فندق على شاطيء البحر الميت الشمالي بكلفة تصل إلى 15 مليون دينار (صحيفة الرأي-العدد 12728-2005).مما سبق يتضح أن مئات الملايين من الدنانير صرفت وما تزال تصرف في منطقة يتهددها عمليات الهبوط والانهيار بفعل تكون ظاهرة حفر الإذابة التي تشير الدراسات أنها ظاهرة آخذة بالانتشار والاتساع. وما يدل على ذلك وقوع العديد من الحوادث المكلفة مادياً منها، انهيار إحدى المنشآت السياحية التابعة لمؤسسة الضمان الاجتماعي وانهيار سد الملاحات التابع لشركة البوتاس العربية الذي بلغت تكاليف إنشاءه 38 مليون دينار شكل(61).



شكل(61)
جانب لسد الملاحات الذي انهار بسبب حفر الإذابة.

وفي شهر آذار عام 2002 هبط احد أعمدة الضغط العالي للكهرباء في إحدى الحفر، مما سبب في قطع التيار الكهربائي عن التجمعات السكانية في غور حديثة وغور المزرعة وغور الصافي لمدة يومين.يضاف إلى ذلك العديد من الحوادث التي يرويها سكان تلك المناطق من تعرض آلياتهم الزراعية ومواشيهم من السقوط في تلك الحفر التي تظهر فجأة، وأدى ذلك إلى هلع المزارعين وخوفهم على أرواحهم وممتلكاتهم التي أصبحت حفر الإذابة تمثل تهديداً حقيقيا لهم في كل لحظة. ولقد تبين من الزيارات الميدانية العديدة بالإضافة إلى اللقاءات التي تمت مع الكثير من قاطني تلك المناطق والعاملين في الشركات الصناعية فيها أن هنالك أخطاراً وآثاراً سلبية اقتصادية واجتماعية وبيئية تتعرض لها تلك المناطق جراء ظهور حفر الإذابة.

فمن الآثار التي ترتبت حالياً على ظهور حفر الإذابة:

1- ازدياد هشاشة الأراضي المحيطة بحفر الإذابة بسبب إتحاد تلك الحفر القريبة من بعضها الذي أدى إلى حدوث انخسافاً وهبوطاً لمساحات قد تتجاوز 500م^2 شكل(62).



شكل(62)
ازدياد هشاشة الأراضي المحيطة بالبحر الميت.

2- أصبحت حفر الإذابة مكبات سهلة للنفايات وخاصة المخلفات الزراعية أو المواشي النافقة، وما يسببه ذلك من مكارة صحية قد تصبح بؤراً لانتشار الأمراض والأوبئة شكل(63).



شكل(63)

إحدى حفر الإذابة بعد أن تحولت إلى مكب للمخلفات الزراعية.

3- المياه المتجمعة في العديد من الحفر أصبحت بيئة خصبة لأنواع كثيرة من الحشرات كالذباب والبعوض وغيرها، مما قد يؤدي إلى احتمال انتشار الأمراض في المناطق القريبة منها شكل(64).



شكل(64)

وجود الماء داخل حفر الإذابة وانتشار الذباب والبعوض فيها.

4- تناقص أعداد الزائرين لبعض المناطق على شاطيء البحر الميت التي ظهرت بالقرب منها حفر إذابة، مثل المناطق الطينية القريبة من مصنع الطين التي يؤمها الزائرين طلباً للعلاج شكل(65).



شكل(65)

المناطق التي كان يؤمها المواطنين طلباً للعلاج أصبحت أكثر خطورة بسبب ظهور حفر الإذابة فيها.

5- هجر المزارعين لوحداتهم الزراعية التي ظهرت فيها حفر الإذابة دون زراعة لخوفهم على أرواحهم وممتلكاتهم شكل(66).



شكل(66)

أراضي زراعية مهجورة بسبب ظهور حفر الإذابة داخلها.

6- عزوف بعض المزارعين عن استغلال أراضيهم بأنفسهم والاستعانة بجنسيات أخرى وبأعداد كبيرة، الأمر الذي يؤدي على المدى المنظور تغيراً في التركيبة السكانية في تلك المناطق. إضافة إلى أن سلطة وادي الأردن تجبر المزارعين على ترك مزارعهم التي ظهر فيها حفر إذابة.

7- تهديد السكان وآلياتهم ومواشيهم سيما صغار السن منهم الذين لا يدركون خطورة الوضع الموجود على أراضيهم شكل(67).



شكل(67)
أطفال وماشية بالقرب من حفر الإذابة.

أما بالنسبة للأخطار المتوقعة مستقبلاً فيما إذا استمر ظهور حفر الإذابة وهذا ما تؤكده الدراسات في ظل الظروف الحالية للمناطق المحاذية للبحر الميت فانه سيترتب على ذلك النتائج التالية:

أولاً: الناحية الزراعية : سيؤدي قلق المزارعين وخوفهم على أنفسهم وممتلكاتهم، إلى هجر الأراضي التي يقومون بزراعتها حاليا في حال تزايد ظهور حفر الإذابة في وحداتهم الزراعية، وكثرة الحوادث التي تقع بسببها مما يؤدي إلى انكماش الرقعة الزراعية في تلك المناطق التي تعد سلة الأردن الغذائية. بالإضافة إلى أن حفر الإذابة ستعمل على تدمير التربة وزيادة ملوحتها وذلك من خلال المياه المالحة التي تظهر فيها والناتجة عن إذابة طبقات الملح تحت قطاع التربة. حيث تنتشر تلك المياه وتتسرب إلى المناطق المجاورة للحفرة الأمر الذي يجعلها غير صالحة للزراعة وتدني إنتاجيتها.

ثانياً: الناحية الاجتماعية، سيؤدي ترك المزارعين لأراضيهم وعدم زراعتها لاسيما وان معظم السكان يعتمدون في حياتهم على الزراعة في تلك المناطق، إلى تفاقم مشكلة البطالة التي يعاني منها السكان أصلاً والتي صنفت على أنها من اشد مناطق الفقر في المملكة.وبذلك يقع السكان تحت أمرين إما الهجرة إلى مناطق أخرى طلباً للعمل والرزق مما يؤدي إلى تفريغ تلك المناطق من سكانها، أو ظهور مشاكل اجتماعية كبيرة كانتشار الجريمة والأمراض والمجاعات والأمية وغيرها من المشاكل التي تصاحب الفقر والبطالة.

ثالثاً: الناحية السياحية، غني عن القول أن منطقة البحر الميت من أهم المناطق ذات الجذب السياحي على مستوى العالم، لأسباب عديدة كونها تمثل حالة فريدة على كوكب الأرض لأنها اخفض نقطة على سطح الأرض، بالإضافة إلى الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياهه التي تجعله منتجعاً علاجياً متميزاً كما أثبتت الدراسات ذلك، ولا أدل على تلك الأهمية أن عقدت في فنادقه العديد من المؤتمرات العالمية في السنوات الأخيرة.وبذلك فانه يمثل احد الروافد الهامة لاقتصادنا الوطني ولكن تطور حفر الإذابة في المناطق المجاورة لشواطئه يمكن

أن تحد وتقلل من تلك الأهمية التي يتمتع بها، وذلك من خلال عزوف المستثمرين في القطاع السياحي عن استثمار أموالهم في تلك المناطق،بالإضافة إلى تناقص أعداد الزائرين والسائحين له مما سيؤثر سلباً على القيمة التي يشارك بها قطاع السياحة في دعم اقتصادنا الوطني.

رابعاً: الناحية الصناعية، ستتأثر المشاريع الصناعية القائمة حالياً والمشاريع المنوي إقامتها، وذلك من خلال خوف راس المال من الاستثمار أو التوسع في مناطق عرضه لحدوث الانهيار والهبوط في أراضيها بسبب تطور حفر الإذابة، لاسيما وان عدة حوادث وقعت لمنشآت صناعية كانهيار سد الملاحات التابع لشركة البوتاس العربية.وكل ذلك سينعكس سلباً على الاقتصاد الأردني وذلك بسبب حرمانه من الاستفادة من الميزات الكبيرة والثروات الطبيعية التي يزخر بها البحر الميت والتي يمكن أن تكون رافداً قوياًً له.

خامساً: قطاع النقل، سيتأثر قطاع النقل سلباً خاصة وأن المنطقة تمثل حلقة الوصل للطريق الحيوي الذي يربط شمال الأردن مع جنوبه عبر الأغوار الذي يخدم الحركة السياحية، بالإضافة إلى خدمة الصناعات القائمة التي تعتمد على تصدير منتجاتها من خلال ميناء العقبة الجنوبي، ويأتي ذلك التأثير بعد ظهور العديد من حفر الإذابة في الشوارع الفرعية القريبة من ذلك الشارع الرئيسي شكل(68).



شكل(68)

حفرة إذابة وسط شارع في غور حديثة، تكونت الحفرة في صيف 1994، وبعمق عشرة أمتار تقريباً.

الفصل الخامس

النتائج والتوصيات

1.5 النتائج

توصلت الدراسة الحالية إلى النتائج التالية :

1- الماء تحت المشبع والماء العذب هو المسؤول عن عمليات الإذابة في منطقة الدراسة، وبالتالي تكوين الفراغات والتجاويف تحت السطح التي تتطور لاحقاً لحفر إذابة.

2- يعتبر انخفاض المستوى المائي العذب (Water Table)هو السبب الرئيس لتكون حفر الإذابة، والمرتبط بانخفاض مياه البحر الميت وتراجع شواطئه وعمليات الضخ الكبيرة من الآبار الموجودة في منطقة الدراسة وقلة الأمطار والسدود المقامة على الأودية الشرقية للبحر الميت.

3- تعتبر أنابيب المياه السطحية والمدفونة في منطقة المزارع في غور حديثة من الأسباب التي تؤدي إلى تكون حفر الإذابة، حين يتسرب الماء منها عند كسرها أو إهترائها.

4- كشف تطور حفر الإذابة عن مواقع ومسارات الممرات المائية الجوفية العذبة، وخصوصاً في تلك الحفر التي انهارت وامتلأت بالمياه العذبة والتي تأخذ شكل وامتداد ذلك الممر المائي الجوفي .

5- تطور حفر الإذابة يحدث خلال جميع فصول السنة ولا يقتصر ظهورها على فصل معين وذلك لتنوع أسباب وآليات تطورها.

6- لقناة البحرين التي سوف تربط بين البحر الميت والبحر الأحمر أثر إيجابي على تطور حفر الإذابة في منطقة الدراسة من حيث الحد من ظهورها وتطورها مستقبلاً.

7- توزيع حفر الإذابة يأخذ اتجاهاً طولياً (SSW-NNE) وبنفس اتجاه الصدع الذي يقع إلى الشرق من البحر الميت والمحاذي له تقريباً.

8- يوجد آليتين لتكون حفر الإذابة في منطقة الدراسة آلية الهبوط التدريجي (Gradual Subsidence) وهو هبوط متزامن مع عمليات الإذابة، والآلية

الأخرى الانهيار المفاجيء (Abrupt Collapse) وهو انهيار وهبوط غير متزامن مع عمليات الإذابة.

9- صعوبة القيام بالدراسات التي تتناول الخصائص المورفومترية والتي إن أجريت ستكون نتائجها تفتقر للدقة لأسباب منها: خطورة المناطق المحيطة بالحفر ووجود الماء بداخلها ونمو الأشجار فيها، بالإضافة إلى ضياع أبعاد الحفر في كثير من الحالات نتيجة عمليات الاتحاد فيما بينها.

10- ينشأ عن حفر الإذابة أخطار بيئية واقتصادية واجتماعية لا يمكن إغفالها.

11- ليس هناك أي حل هندسي على المدى المنظور للحد من ظهور تلك الحفر وتجنب الآثار الناتجة عنها.

12- يعاني البحر الميت من انخفاض مستواه بشكل خطير ،حيث كان مستواه عام 1960 (395-) تقريباً وأصبح في تموز 2005(418.020-) ويعزى ذلك الانخفاض لأسباب طبيعية وبشرية عديدة، أهمها تحويل اسرائيل لمجرى مياه نهر الاردن.

2.5 التوصيات

تقترح الدراسة الحالية التوصيات التالية:

1- القيام بإجراء الدراسات الجيوفيزيائية(Geophysical Studies) حيث أجريت في منطقة الدراسة وأثبتت نجاعتها، وذلك للكشف عن حفر الإذابة المستترة والفراغات والتجاويف تحت السطح، وخاصة عند إقامة المنشآت الصناعية والسياحية في تلك المناطق وذلك لتجنب إقامة تلك المنشآت عليها.

2- القيام بتحديد مناطق الممرات المائية الجوفية التي تعمل على إذابة الصخور القابلة للذوبان، والابتعاد عن إقامة المنشآت والمشاريع فوقها أو بالقرب منها.

3- استخدام تقنية التداخل الراداري الفضائية (Radar Differential Interferometry) التي أثبتت نجاحاً كبيراً في الكشف والمراقبة للحفر التي لم تنهار بعد، حيث تتميز تلك التقنية بالسهولة والكفاءة والكلفة المناسبة.

4- توعية السكان قاطني تلك المناطق بالمخاطر التي تنشأ عن تلك الحفر، وكيفية التعامل معها مع ضرورة الإبلاغ عن أي تغيرات تحدث على سطح الأرض بالقرب من منازلهم أو مزارعهم أوممتلكاتهم.

5- يجب أن يحرص قاطني تلك المناطق والعاملين فيها وكذلك المنشآت بمختلف نشاطاتها، على التأمين على أرواحهم وممتلكاتهم ومزارعهم لدى شركات التأمين، كما في دول العالم المتقدم. وذلك يتطلب نشر الوعي التأميني لدى الناس وشركات التأمين على حد سواء بما يتعلق بالتأمين ضد الأخطار الطبيعية .

6- أن يتم الاستغناء عن أنابيب الري المدفونة تحت سطح الأرض في مناطق المزارع، والذي يؤدي تسرب الماء منها إلى ازدياد عمليات الإذابة وتكوين الفراغات والفجوات التي تتطور إلى حفر إذابة، وان تكون ظاهرة على السطح ليسهل مراقبتها وصيانتها باستمرار.

7- يجب على أصحاب القرار الاهتمام بالمناطق المحاذية للبحر الميت، وذلك من خلال دعم الأبحاث والدراسات التي تتناول موضوع حفر الإذابة للمحافظة على تلك المناطق التي تساهم وستساهم مستقبلاً في دعم الاقتصاد الوطني من خلال المشاريع المقامة أو المنوي إقامتها.

المراجع

أ- المراجع العربية

بحيري، صلاح(1991): **جغرافية الأردن**. الطبعة الثانية، مكتبة الجامع الحسيني.عمان.

جبور ،سمير(1981):قناة البحرين: البحر المتوسط والبحر الميت. **سلسلة مؤسسة الدراسات الفلسطينية**، عدد60، بيروت.

الخشاب، وفيق، و سعيد، أحمد؛ و الحديثي، عبد العزيز (1980): **الجيومورفولوجيا التطبيقية**، الطبعة الأولى، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي. العراق.

دائرة الأرصاد الجوية(2004): **جداول غير منشورة**، قسم المناخ، عمان. الأردن.

سلامه، إلياس و الريماوي، عمر (1997): **السياحة العلاجية، مياه الاستشفاء في الأردن**. وزارة السياحة والآثار.عمان. الأردن.

شاهين،علي(1970): **مقالات في الجيومورفولوجيا**. مطابع عابدين، الهيئة العامة للتأليف والنشر. الإسكندرية. مصر.

عابد، عبد القادر(1982): **جيولوجية الأردن**. مكتبة النهضة الإسلامية، عمان. الأردن.

عابد، عبد القادر(1985): **جيولوجية البحر الميت**. دار الأرقم.عمان. الأردن.

العرود، إبراهيم(2002): **مبادئ الجغرافيا الطبيعية**. الطبعة الأولى. عمان. الأردن.

عودة، سميح(1984): **جيومورفولوجية الهوات في الجبل الأخضر**، منشورات وحدة البحث والترجمة. العدد63. الكويت.

ماركوف، ك.ك، (1970): التاريخ الجيولوجي والجغرافي للبحر الميت. ترجمة علي عبد الكريم، **مجلة المربد**، العدد4. السنة الثالثة. العراق.

وزارة المياه والري(2004): **التقرير السنوي لعام2004**. مديرية المياه السطحية.عمان. الأردن.

ب- المراجع الإنجليزية

Abelson,M.,Baer,G.,Shtivelman,V.,Wachs,D.,Raz,E.,Crouni,O.,Kurzon, I. and. Yechieli,Y.,(2003):Collapse-Sinkholes and Radar interferometry reveal neotectonics Conceald within the Dead Sea Basin. **Geophysical Research Letters**, Vol.30, No.10.pp.52-55.

Abou Karaki,N.(1995):The gravity survey:Assessment of the hazard of subsidence and sinkholes in Ghor Al-Haditha area-Final report.In El-Isa et al., Center for Consultation, **Technical Services and Studies**. University of Jordan, unpublished,PP.117-124.

Arkin, Y.and Gilat, A. (2000): Dead Sea Sinkholes-an Ever-Developing Hazard.Environm.**Geology** 39, 711-722.

Batayneh, A.,Al-Zoubi A., and Hassouneh,M.(1995):Magnetic and Gravity Investigation of Lisan Peninsula-Dead Sea (Jordan), **J. China Univ Geosci.** 6(2), PP.213-218.

Batayneh, A., Abueladas, A., Moumani, K., (2002): Use of ground-pentrating radar for assessment of potential Sinkholes Conditions: an example from Ghor Al Haditha area, **Jordan. Environm.Geol**.41, PP. 977-983.

Bender, F. (1974): Geology of Jordan. Gebruder Borntraeger. Berlin.

Closson, D. Abou, Karaki, N., Hansen, H., Derauw, D., Barbier, C.,and Ozer,A.(2003): Space borne Radar Interferometric Mapping of Precursory Deformations of a Dyke Collapse-Dead Sea Area-Jordan. Intern. **J. Remote Sensing** 24(4),843-849.

Closson, D., Abou Karaki,N.,Kinger,Y.and Hussein.J.,(2005):Subsidence and Sinkhole Hazard Assessment in the Southern Dead Sea Area, Jordan. Pure Appl.**Geophsics**.162, PP. 221-248.

Colman, A.and Balchin, W.(1959):The Origin and Development of Surface Depressions in Mindip Hills.Proc.**Geol.Ass**.70.PP.291-309.

Cramer,H.,1941, Die Systematik der Karst Dolinen:Neves Jb.Miner. **Geol.Palaont**, v.85,pp.293-382.

Doornkamp, J.C., and King, C.A. (1971): **Numerical Analysis in Geomorphology an Introduction** .Arnold. London.

El-Isa Z., Rimawi O., Jarrar G., Abu Karaki N.,Taqieddin S.,Atallah M., Abderahman N.,Al Saed A.(1995): **Assessment of the hazard of subsidence and Sinkholes in Ghor Al-Haditha area. Report Submitted to the Jordan Valley Authority**, Ministry of Water and Irrigation, Amman ,Jordan, University of Jordan Center for Consultation, Technical Services Study, Amman, Jordan.

Foose, R.M. (1967): Sinkhole Formation by groundwater withdrawal. Far West Rand .**South Africa, Science**, V.157.PP.1045-1048.

Fordik,Diane, 2000, **Morphometric Analysis of Sinkholes in Greenbrier County**, West Virginia; unpublished M.S. Project Report

#1,Department of Geology and Geography, West Virginia University, Morgantown, WV,110P.

Gardener, J.H., (1935): Origin and Development of Limestone Caverns.Bull.Geo.Soc.Am.46.PP.1255-1274.

Gardosh, M., Kashai, E., Salhov, S., Shulman, H.,and Tannenbaum, E.,(1997):**Hydrocarbon exploration in the southern Dead Sea basin**, Oxford: Oxford University Press.PP. 57-72.

Garfunkel, Z., Zak, I.and Freund, R. (1981): Active Faulting in The Dead Sea Rift, **Tectonophysices** 80, pp.1-26.

Hamblin,W.K.(1985) The Earth's Dynamic Systems. Macmillan Publishing Company. New York,P.162.

Holzer, T.J. (1979): Elastic expansion of the Lithosphere caused by groundwater depletion .**Jour. Geophysical Resarch**.V84.PP.4689-4698.

Joseph,D.Martinez,Kenneth,S.Johnson and James,T.(1998):Sinkholes in Evaporite Rocks. **American Scientist**,Vol.86.U.S.A.

Keight, D.J. (1993): **Extension west of Lisan peninsula sinkholes along access road**. The Arab potash company, DJK /ALLO/92235 B. Unpublished Report.

La Valle,P.(1967):Some Aspects of Linear Karts Depressions Development in South Central Kentucky,**Ann.Am.Geog**.PP.49-71.

Legget R.F., Hatheway A.W., (1988): **Geology and engineering**. McGraw-Hill, New York , PP.530-534.

Lynch, W.F., (1849): **Narrative of the US expedition to the river Jordan and the Dead Sea**, London, R Bently.

Malott, C.A. (1937): Invation Theory of Cavern Development. Prc .**Geol Soc. Am**.65.PP.1365-1361.

Miller, E, W., (1985): **Physical Geography**. Miller Publishing Company. London.

Morgan, A.M. (1942): Solution-Phenomena in the Pecos basin. Am. **Geophys** .Union Trans.PP.27-35.

14-Neev, D. and Emery, K.O. (1967): The Dead Sea. Geological Survey of Israel. Bull.41.

Olive, W. (1957): Solution-Subsidence Trouphs.Castile Formation of Gypsum Plain. Texas and New Mexico.Bull.**Geol.Soc.Am**.68.PP.351-358.

Oroud,I.M.(1999) Evaporation-Temperature dynamics of saline solutions. **J. Hydrol**. 226,PP.1-10.

Oroud, I. (2001): Evaporations from the Dead Sea: Past, Present and Future Trends. **Abhath Al-Yarmouk**, Vol.10.PP.359-376.

Ogden,A.E.,and Reger,J.P.,1977,Morphometric Analysis of Sinkholes for Predicting Geound Subsidence, Monroe County, West Virginia: Proceedings of the International Symposium on 'Hydrologic Problems

in Karst Regions: **Bowling Green**. Westren Kentucky University, PP.130-139.

Quennell, A. (1958): The Structurel and Geomorphic Evolution of the Dead Sea Rift.Q.Jour.Soc.London.Vol.34.

Salameh, E., and EL-Naser, H. (1999) Does The Actual Drop in Dead Sea Level Reflect the Development of Water Sources Within its Drainage Basin?**Acta Hydrochemica et Hydrobiologice**,PP. 5-11.

Salameh, E., and EL-Naser, H. (2000): Changes in the Dead Sea Level and Their Impacts on the Surrounding Groundwater Bodies, **Acta Hydrochemica et Hydrobiologica**,PP. 2-33.

Smith, J.F.and Albritton,C.(1941):Solution Effects on Limestone as a Function of Slope.Bull.**Geol.Soc.Am**.52.PP.61-78.

Steinhorn,I.(1991):On the Concept of evaporation from fresh and Saline water bodies. **Water Res**.,27,PP.645-648.

Sunna,B.(1986):The geology of Salt Deposits in The Lisan Peninsula-Dead Sea. Seminar on Salt in the Arab World: Ministry of Energy and Mineral Resources, **NRA**. Amman-Jordan.4-6May.

Taqieddin, S., Abderahman,N., and Atallah,M. (2000):Sinkholes Hazard along the Eastern Dead Sea Shoreline Area, Jordan. A Geological and Geotechnical Considration .Environ. **Geology** 39(11).PP.1237-1253.

Tapponnier,P.(1993):**Collapse Hazard near Projected dyke west Lisan Peninsula-Dead Sea**. The Arab Potash Company Project. Unpublished Report.19PP.

Ten-Brink,U.S, and Ben-Avrham,Z.(1989):The anatomy of a pull-apart basin: Seismic reflection observations of the Dead Sea basin. **Tectonics**, PP. 333-350.

Thornbury, W.D., (1954): **Principles of Geomorphology**. John Wiley and Sons Inc .New York.PP.307-223.

Todd, D., K. (1980): **Groundwater Hydrology**. Second Edition. John Wiley and Sons .New York. PP. 259-262.

Williams,P.W.,1966,Morphomtric Analysis of Temperate Karst-Land forms. Irish **Speleology** 1:23-31.

Williams,P.W.,1972,**Morphomtric Analysis of Polygonal Karst in New Guinea Geological Society of America Bulletin** 83: 761-796.